

30-0162/001

INSTITUT FÜR BAUSTOFFE, MASSIVBAU UND BRANDSCHUTZ
TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG

DIREKTOREN: PROF. DR.-ING. DR.-ING. E. h. K. KORDINA · PROF. DR.-ING. F. S. ROSTASY

Untersuchungen zur Biegezugfestigkeit von thermisch
hochbeanspruchtem Stahlfaserbeton

A b s c h l u ß b e r i c h t

erstattet von

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. K. Kordina

Dr.-Ing. W. Wydra

Dr.-Ing. U. Diederichs

August 1986

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft

Az.: Ko 204/35-1
Ko 204/35-2

Postsendungen:
Beethovenstraße 52, 3300 Braunschweig
Erfüllungsort und Gerichtsstand: Braunschweig

Fernsprecher: (05 31) 301 5431

Fernschreiber: 0 52 698 1bstb d
Telegrammadresse: MPA Braunschweig

Zur Vermeidung von Verzögerungen wird dringend gebeten, Zuschriften nur an das Institut zu richten, nicht aber an einzelne Mitarbeiter.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Problemstellung
2. Experimentelles
 - 2.1 Überblick über das Versuchsprogramm
 - 2.2 Probekörper
 - 2.3 Herstellung der Probekörper
 - 2.4 Mechanische Untersuchungen
 - 2.5 Strukturanalytische Untersuchungen
3. Versuchsergebnisse
 - 3.1 Biegezugfestigkeit bei Raumtemperatur
 - 3.2 Biegezugfestigkeit bei erhöhten Temperaturen
 - 3.3 Biegezugfestigkeit nach Tieftemperaturbeanspruchung
 - 3.4 Strukturuntersuchungen
4. Zusammenfassung
5. Schrifttum
6. Anhang

1. Einleitung und Problemstellung

Der Einfluß von Stahlfaserverstärkungen auf das Festigkeits- und Verformungsverhalten von Beton ist seit fast 20 Jahren Gegenstand intensiver Forschungsaktivitäten im In- und Ausland. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen, daß sich durch Zugabe von Stahlfasern eine deutliche Erhöhung der Zugfestigkeit, der Dehnfähigkeit und des Energieabsorptionsvermögens erreichen läßt /1 - 4/. Der stahlfaserverstärkte Beton findet wegen dieser herausragenden Eigenschaften trotz der höheren Herstellungskosten bereits heute eine breite Anwendung in der Praxis (Fahrbahnplatten /5/, Ausbesserungs- und Verstärkungsarbeiten an Tunneln in Stahlfaserspritzbeton-Bauweise /6/, Auskleidung von Druckstollen in Wasserkraftwerken /7/ usw.).

In Pilotstudien am Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig konnte darüber hinaus nachgewiesen werden /8, 9/, daß stahlfaserverstärkte Betone auch nach bzw. bei extremen Temperaturbeanspruchungen ($-196\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +900\text{ }^{\circ}\text{C}$) deutlich geringere Festigkeitsverluste und eine höhere Duktilität aufweisen als vergleichbare Betone ohne Faserverstärkung. Aufgrund dieser Eigenschaften könnte Stahlfaserbeton auch verstärkten Einsatz in Bauwerken der Energietechnik finden, in denen entweder im Betriebszustand oder im Katastrophenfall extreme thermische Langzeit- oder Schockbeanspruchungen auftreten können. Als Beispiele seien genannt: Spannbetonbehälter für flüssiges Erdgas, Reaktordruckbehälter, Rauch- oder Heißgaskanäle in Kokereien, Wärmespeicherbecken und Bauteile im konventionellen Kraftwerksbau sowie Silos, Schornsteine usw. Weitere Anwendungsgebiete sind der Schutzraum-, Tresor- und Archivraumbau, wobei im Katastrophenfall sowohl mit hoher thermischer als auch hoher stoßartiger mechanischer Belastung zu rechnen ist.

Eine besondere Bedeutung kommt dem Stahlfaserbeton im Hinblick auf den Brandschutz zu. So sind beispielsweise feingliedrige Bauteile des Hochbaus (z.B. vorgespannte I-Träger) bei Feuerangriff in hohem Maße durch explosives Abplatzen ganzer Betonschalen gefährdet. Faserbeton könnte dies weitgehend verhindern.

Neuere Konstruktionen, z.B. sog. Verbundträger oder -stützen (ausbetonierte Stahlhohlprofile oder einbetonierte Träger) könnten wesentlich wirtschaftlicher hergestellt werden, wenn auf das Anbringen von Längsbewehrung und auf Verbügelung durch Verwendung von Faserbeton verzichtet werden könnte.

Voraussetzung für die breite Anwendung von stahlfaserverstärktem Beton ist jedoch die Kenntnis des Materialverhaltens bei Einwirkung extremer Temperaturbeanspruchungen, wobei das Verformungsverhalten und die Zugfestigkeit von besonderem Interesse sind.

Während sowohl über das Verhalten von Stahl und Beton als auch über das Verhalten des Verbundes zwischen Stahl und Beton unter extremer thermischer Belastung eine umfangreiche Literatur verfügbar ist (siehe z.B. /8, 10, 11/), liegen, wie eine Literatursichtung /12/ ergeben hat, bis auf die beiden im Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz durchgeführten Pilotstudien keine weiteren Untersuchungen über das thermische Verhalten von Stahlfaserbeton vor.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollten daher in mehreren Versuchsserien bei Einschränkung der in der Praxis denkbaren Materialparameter die Biegezugfestigkeit und das Verformungsverhalten von biegebeanspruchten Stahlfaserbetonen unter hohen thermischen Beanspruchungen studiert werden. Daneben sollten aber auch mit Hilfe von strukturanalytischen Untersuchungen die Ursachen für mögliche Veränderungen der Biegezugfestigkeit infolge Temperaturbeanspruchung erforscht werden.

2. Experimentelles

2.1 Überblick über das Versuchsprogramm

Nach der Zusammenstellung und Auswertung der in den Pilotstudien und bei Verbunduntersuchungen gewonnenen Ergebnisse erfolgte die endgültige Festlegung der Versuchsparameter. Dabei wurden die Anregungen der Gutachter - bestimmte Versuchsarten und die Strukturuntersuchungen gegenüber dem ursprünglich geplanten Versuchsprogramm einzuschränken - weitgehend berücksichtigt.

Untersucht wurde die Biegezugfestigkeit an prismatischen Proben (7,2 cm x 6,4 cm x 28 cm) aus Beton bzw. aus Mörtel, die mit Hilfe eines diamantbesetzten Sägeblattes aus massiveren Platten naß herausgeschnitten wurden. Als Hauptparameter wurden bei den Versuchen die Betonzusammensetzung, der Faserzusatz und die Belastungstemperatur variiert. Einen Überblick über das Versuchsprogramm gibt die Tabelle 1.

Tabelle 1: Versuchsparameter bei den Biegezugversuchen

Betonzusammensetzung	
Zuschläge	Kies, Kalkstein, Diabas
Größtkorn der Zuschläge	Kiesbeton (16 mm), Mörtel (4 mm)
W/Z-Wert	Kiesbeton (W/Z = 0,485; 0,55; 0,65)
Bindemittel	340 kg/m ³ PZ 35 F, 340 kg/m ³ PZ 35 F + 60 kg/m ³ Silica fume
Faserzusatz	
Faserart	gerade Fasern, gekröpfte Fasern, gefräste Fasern
Fasergehalt	gerade Fasern (1, 2, 3 Gew.-%) gefräste Fasern (3, 6 Gew.-%)
Faserlänge	gerade Fasern (25 mm, 40 mm)
Belastungsart	
Hochtemperaturunter- suchung	Aufheizung auf bestimmte Temperaturen (150, 300, 450, 600, 800 °C) und Durch- führung eines 3-Punkt-Biegezugversuchs
Tieftemperaturunter- suchungen	Schockartige Abkühlung der Proben auf - 196 °C, Durchführung von 3-Punkt-Bie- gezugversuchen nach dem Wiederauftauen

Neben den Biegezugversuchen wurden an einigen ausgewählten Betonserien Struktur-
untersuchungen mit Hilfe der Quecksilberporosimetrie durchgeführt.

2.2 Probekörper

Einer der Hauptschädigungsmechanismen bei extremen thermischen Beanspruchungen von hydraulisch gebundenen Werkstoffen stellt die Rißbildung dar, bei der entweder makroskopische oder mikroskopische Risse entstehen können. Solche Strukturschädigungen wirken sich insbesondere bei Beton und Mörtel sehr viel stärker auf die Zugfestigkeit als auf die Druckfestigkeit aus.

Für den Raumtemperaturbereich stellt die Ermittlung der einaxialen Zugfestigkeit nach der Entwicklung hochfester Kunststoffkleber heute kein Problem mehr dar. Bei hohen und bei sehr tiefen Temperaturen ergeben sich auch heute noch Schwierigkeiten, weil die Kleber entweder nicht beständig sind oder zu stark verspröden. Deshalb können bei extremen Temperaturen nur indirekte Methoden wie der Spaltzugversuch und der Biegezugversuch zur Anwendung kommen.

Die Ergebnisse der Spaltzugfestigkeitsuntersuchungen können jedoch nicht ohne weiteres zur Abschätzung der einaxialen Zugfestigkeit als Funktion der Temperatur herangezogen werden, weil bei der Berechnung der Zugfestigkeit aus der Maximalkraft beim Spaltzugversuch vorausgesetzt wird, daß sich das Material bis zum Bruch elastisch verhält und spröde bricht. Dies ist jedoch für stark temperaturbeanspruchten Beton nicht mehr gegeben, denn bei höheren Temperaturen nimmt erfahrungsgemäß das Arbeitsvermögen, d. h. seine Plastifizierbarkeit, zu.

Bei der Ermittlung der Biegezugfestigkeit entfällt ein großer Teil der oben angesprochenen Probleme (vgl. auch /15/). Die Methode gestattet es vielmehr, Versuche unter definierten Versuchsbedingungen auch in größerer Anzahl wirtschaftlich durchzuführen.

Die Abmessungen der Probekörper müssen jedoch auf die thermischen Randbedingungen abgestimmt werden. Durch möglichst geringe Abmessungen lassen sich die Temperaturgradienten auch bei erforderlichen Aufheizgeschwindigkeiten von 1 - 2 K/min auf ein vertretbares Maß beschränken.

Andererseits sollten die Probekörperabmessungen wegen des spezifischen Materialaufbaus nicht zu gering ausfallen. Für Betone gilt, daß die kleinste

Probekörperabmessung wenigstens das Drei- bis Fünffache des Größtkorndurchmessers betragen sollte /16/. Bei Betonen mit einem Größtkorn von 16 mm wären das etwa 50 bis 80 mm. Um den Herstellungs- und Prüfaufwand minimal zu halten, wurde die Probengröße schließlich auf 7,2 cm x 6,4 cm x 28 cm festgelegt.

Die Probekörper wurden aus Platten (64 mm x 150 mm x 700 mm) mit einem Diamantsägeblatt naß herausgeschnitten (vgl. Bild 1).

2.3 Herstellung der Probekörper

Für die Untersuchungen wurden vier unterschiedliche Stahlfaserarten verwendet, eine gerade Faser (Markenname: Wirex 0,4/25) und eine längere gerade Faser (Markenname: Wirex 0,4/40) der Firma Trefil-ARBED, Köln; eine Stahlfaser mit Endaufbiegungen (sog. Hakenfaser mit dem Markennamen Dramix ZC 30/.50) der Firma BEKAERT DEUTSCHLAND GmbH, Bad Homburg v.d.H.; eine gefräste Faser (mit dem Markennamen HAREX SF01-32/130) der Firma HAREX Stahlfasertechnik GmbH und Co. KG, Herne. Tabelle 2 enthält die wesentlichen Abmessungen der verwendeten Fasern.

Tabelle 2: Verwendete Stahlfasern

Faserart	Markenname	l [mm]	d [mm]	l/d [mm]	Bemerkung
gerade Faser	Wirex 0,4/25	25	0,4	62,5	Einzelfasern
gerade Faser	Wirex 0,4/40	40	0,4	100	Einzelfasern
Hakenfaser	Dramix ZC 30/.50	30	0,5	60	zu Bündeln verklebt
gefräste Faser	Harex SF 01-32/130	32,5	2,0 x 0,24	58 ^{*)}	sichelförmiger in sich gedrehter Stahlsplan

^{*)} Ermittelt über die Querschnittsfläche

Eine Besonderheit besteht bei der Dramix-Stahlfaser darin, daß die einzelnen Fasern mit einem Spezialkleber zu Faserbündeln verklebt sind. Die Faservereinzelung erfolgt während des Mischvorgangs sowohl durch Reibung mit den Zuschlagstoffen als auch dadurch, daß die Klebverbindung durch das zugegebene Wasser gelöst wird. Die Dramix-Faser wird dadurch hinsichtlich der Herstellung des Frischbetons unproblematischer als die geraden Fasern. Insbesondere zeigten die Dramix-Fasern eine geringere Neigung zur Igelbildung als die geraden Fasern.

Die Harex-Stahlfaser wird mittels eines rotierenden Fräasers aus unbearbeiteten Brammen hergestellt. Während des Fräsvorgangs entsteht ein sickelförmiger bis dreieckiger, in sich gedrehter Stahlspan, dessen eine Oberfläche glatt und die andere rauh ist. Aufgrund der besonderen Form der Harex-Stahlfasern kann bei der Zugabe der Fasern zum Frischbeton auf den Einsatz von Vereinzelungsgeräten (zur Vermeidung von Igelbildung) verzichtet werden. Die Stahlfasern können dem Frischbeton "en bloc" zugegeben werden und vereinzeln sich im Verlaufe des Mischens auch noch in hoher Konzentration sehr gut.

Einen Überblick über die mit den verschiedenen Stahlfasern hergestellten Betone und Mörtel gibt Tabelle 3. Wie der Tabelle zu entnehmen ist, wurde zu fast jedem Faserbeton eine Vergleichsmischung ohne Faserzusatz hergestellt.

Als Zement wurde einheitlich ein PZ 35 F verwendet. Die Kiesbetone mit Größtkorn 16 mm wurden aus örtlich vorhandenem Sand und Kies (überwiegend quarzhaltig) hergestellt. Die Zuschlaggemische wiesen dabei eine stetige Sieblinie im günstigen Bereich A 16 - B 16 auf.

Für die Kalkstein- und Diabasbetone wurde Material aus dem Harz beschafft. Die Zuschläge der Betone waren monomineralisch, d.h. für die Kornfraktionen 2/8, 8/11 und 11/16 wurde doppelt gebrochener Splitt und für die Feinfraktion 0/2 mm Brechsand der jeweiligen Gesteine verwendet. Die Kornzusammensetzung des Kalksteinbetons folgte der stetigen Sieblinie A 16. Für den Diabasbeton wurde die Ausfallkörnung U 16 gewählt.

Tabelle 3: Hergestellte Probemischungen

Betonier-Nr.	Mischungs- bezeichnung	Mischungscharakterisierung
219/83	SF - Q	Kiesbeton mit silica fume und 3 % Wirex-Fasern (0,4/25 mm)
221/83	SF - D	Diabassplittbeton mit silica fume und 3 % Wirex-Fasern (0,4/25 mm)
225/83	KS I	Kalksplittbeton mit silica fume und 3 % Wirex-Fasern (0,4/25 mm)
84*/84	Qo	Kiesbeton ohne Fasern
84/84	Qm	Kiesbeton mit 3 % Wirex-Fasern (0,4/25 mm)
90*/84	Do	Diabassplittbeton ohne Fasern
90/84	Dm	Diabassplittbeton mit 3 % Wirex-Fasern (0,4/25 mm)
105*/84	Qm1	Kiesbeton mit 1 % Wirex-Fasern (0,4/25 mm)
105/84	Qm2	Kiesbeton mit 2 % Wirex-Fasern (0,4/25 mm)
113*/84	Qm 1	Kiesbeton mit 3 % Wirex-Fasern (0,4/40 mm)
113/84	Qm w	Kiesbeton mit 3 % gekröpften Fasern
116/84	Qm 0,55	Kiesbeton mit höherem W/Z-Gehalt (W/Z = 0,55) und 3 % Wirex-Fasern (0,4/25 mm)
117/84	Qm 0,65	Kiesbeton mit hohem W/Z-Gehalt (W/Z = 0,65) und Wirex-Fasern (0,4/25 mm)
123*/84	Mo	Mörtel ohne Fasern
123/84	Mm	Mörtel mit 3 % Wirex-Fasern (0,4/25 mm)
157/84	Ko	Kalksplittbeton ohne Fasern
158/84	Km	Kalksplittbeton mit 3 % Wirex-Fasern (0,4/25 mm)
166/84	MH 6	Mörtel mit 6 % Harex-Fasern
167/84	MH 12	Mörtel mit 12 % Harex-Fasern
171/84	QH 3	Kiesbeton mit 3 % Harex-Fasern
172/84	QH 6	Kiesbeton mit 6 % Harex-Fasern

Pro Betoniertermin wurden in einem Zwangsmischer mit 150 l Nenninhalt jeweils zwei Mischungen à 40 l hergestellt. Bei der ersten Mischung handelte es sich zumeist um den Grundbeton ohne Faserzusatz. Bei der zweiten Betonage wurde zunächst die gleiche Grundmischung hergestellt, erst dann wurden die Fasern zugesetzt.

Die Mischzeit für den Grundbeton betrug jeweils drei Minuten. Anschließend wurde der Betonverflüssiger (Sikament) zugegeben und weitere drei Minuten gemischt. Dann wurden von der Grundmischung das Ausbreitmaß, das Verdichtungsmaß und der Luftporengehalt bestimmt. Daran anschließend wurden die Stahlfasern untergemischt und das Verdichtungsmaß sowie bei einigen Mischungen auch der Luftporengehalt bestimmt.

Von jeder Mischung wurden dann drei Platten (6,4 cm x 15 cm x 70 cm) und vier Würfel (15 cm x 15 cm x 15 cm) hergestellt. Die Würfel wurden in üblichen Kunststoffformen betoniert. Für Platten fanden zerlegbare Stahlschalungen Verwendung. Die Verdichtung erfolgte in allen Fällen auf einem Rütteltisch. Die Verdichtungszeit betrug jeweils 60 Sekunden.

Alle Proben wurden nach dem Betonieren bis zum Ausschalen (nach einem Tag) feucht gehalten. Die Gütewürfel wurden dann entsprechend DIN 1048 (7 Tage unter Wasser, anschließend bei 20 °C und 65 % relativer Feuchte) bis zur jeweiligen Prüfung (nach 28 Tagen bzw. zum Beginn der Biegezugprüfungen) gelagert. Die Platten wurden nach dem Ausschalen unter Wasser gelagert und nach ausreichender Hydratation (gewöhnlich im Alter > 28 d) entsprechend Bild 1 in kleine Prismen (6,4 cm x 7,2 cm x 28 cm) zersägt. Nach dem Sägen erfolgte wiederum eine Wasserlagerung bis unmittelbar vor Versuchsbeginn.

Die Zusammensetzungen der einzelnen Mischungen sowie die ermittelten Frisch- und Festbetonkennwerte sind in den Tabellen 4a, 4b und 4c zusammengestellt. Weitere Einzelheiten lassen sich den Betonierprotokollen entnehmen, die als Anlage beigefügt sind.

Tabelle 4a: Mischungszusammensetzungen und Frischbetonkennwerte

Mischungsbezeichnung	SF-Q	SF-D	KSI	Ko	Km	Do	Dm
Zementgehalt PZ 35 F (kg/m³)	340	340	340	340	340	340	340
Silica fume (kg/m³)	60	60	60	-	-	-	-
Zuschlag (gesamt) (kg/m³)	1824	1854	1884	1884	1884	1854	1854
Brechsand 0/2 mm	-	35 %	35 %	20 %	20 %	30 %	30 %
Splitt 2/8 mm	-	-	-	40 %	40 %	-	-
Splitt 8/11 mm	-	25 %	25 %	15 %	15 %	30 %	30 %
Splitt 11/16 mm	-	40 %	40 %	25 %	25 %	40 %	40 %
Natursand 0/2 mm	34 %	-	-	-	-	-	-
Kies 2/8 mm	26 %	-	-	-	-	-	-
Kies 8/16 mm	40 %	-	-	-	-	-	-
Wasser (kg/m³)	191	200	200	153	153	153	153
W/Z	0,57	0,59	0,59	0,45	0,45	0,45	0,45
Fließmittel ^{*)}	2 %	3 %	3 %	1 %	1 %	1,5%	2,0%
Stahlfasergehalt ^{**)}	3 %	3 %	3 %	-	3 %	-	3 %
Ausbreitmaß ^{***)} (cm) (vor Stahlfaserzusatz)	28	37	53	43,5	-	-	-
Verdichtungsmaß (vor Stahlfaserzusatz)	-	-	-	1,16	-	1,4	-
(nach Stahlfaserzusatz)	1,34	1,38	1,08	-	1,20	-	1,3
Luftporengehalt (vor Stahlfaserzusatz)	-	-	-	2,0	7,2	1,5	-
Frischbetonrohichte	2,35	2,48	2,47	2,47	2,46	2,48	2,53
Würfeldruckfestigkeit (N/mm²) nach 28 Tagen bei Versuchsdurchführung	51 59	54 59	63 71	51 53	48 51	52 59	48 55

^{*)} bezogen auf das Zementgewicht

^{**)} bezogen auf das Betongewicht

^{***)} soweit feststellbar, gemessen nach Betonverflüssigerzugabe

Tabelle 4b: Mischungszusammensetzungen und Frischbetonkennwerte

Mischungsbezeichnung	Q ₀	Q _m	Q _{m1}	Q _{m2}	Q _{m1}	Q _{mw}	Q _{m0,55}
Zementgehalt (kg/m ³) PZ 35 F	340	340	340	340	340	340	340
Zuschlag (gesamt)(kg/m ³)	1847	1847	1847	1847	1847	1847	1847
Natursand 0/2 mm	34 %	34 %	34 %	34 %	34 %	34 %	34 %
Kies 2/8 mm	26 %	26 %	26 %	26 %	26 %	26 %	26 %
Kies 8/16 mm	40 %	40 %	40 %	40 %	40 %	40 %	40 %
Wasser (kg/m ³)	165 •	165	170	170	170	187	221
W/Z	0,485	0,485	0,5	0,5	0,5	0,5	0,55
Fließmittel ^{*)}	1 %	1 %	1 %	1 %	2 %	2 %	2 %
Stahlfasergehalt ^{**)}	-	3 %	1 %	2 %	3 %	3 %	3 %
Ausbreitmaß ^{***)} (cm) (vor Stahlfaserzusatz)	30	30	35,5	35	35	35	46,2
Verdichtungsmaß vor Stahlfaserzugabe	1,19	1,19	1,14	1,16	1,17	1,16	1,07
nach Stahlfaserzugabe	-	1,39	1,23	1,29	1,28	1,35	1,26
Luftporengehalt (%) (vor Stahlfaserzugabe)	2,3	-	1,8	1,8	2,0	1,6	1,3
Frischbetonrohddichte	2,40	2,40	2,41	2,43	2,29	2,45	2,45
Würfeldruckfestigkeit (N/mm ²)							
nach 28 Tagen	54	52	59	60	36	55	54
bei Versuchsdurchführung	65	58	61	61	46	63	59

^{*)} bezogen auf das Zementgewicht

^{**)} bezogen auf das Betongewicht

^{***)} soweit feststellbar; gemessen nach Betonverflüssigerzugabe

Tabelle 4c: Mischungszusammensetzung und Frischbetonkennwerte

Mischungsbezeichnung	Qm0,65	QH3	QH6	Mo	Mm	MH6	MH12
Zementgehalt (kg/m³) PZ 35 F	340	340	340	500	500	500	500
Zuschlag (gesamt) (kg/m³)	1847	1847	1847	1500	1500	1500	1500
Natursand 0/2 mm	34 %	34 %	34 %	69 %	69 %	70 %	70 %
Kies 2/8 mm	26 %	26 %	26 %	31 %	31 %	30 %	30 %
Kies 8/16 mm	40 %	40 %	40 %	-	-	-	-
Wasser (kg/m³)	221	170	170	250	250	250	250
W/Z	0,65	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Fließmittel*)	1 %	1 %	2 %	1 %	1 %	1 %	1 %
Stahlfasergehalt**)	3 %	3 %	6 %	-	3 %	6 %	12 %
Ausbreitmaß***) (cm) (vor Stahlfaserzugabe)	52,5	34,5	34,5	54	54	56	56
Verdichtungsmaß vor Stahlfaserzugabe	1,05	1,13	-	1,03	1,03	1,02	1,02
nach Stahlfaserzugabe	1,15	1,28	1,26	-	1,06	1,05	1,06
Luftporengehalt (%) vor Stahlfaserzugabe	1,1	2,0	2,0	3,0	3,0	2,0	2,0
nach Stahlfaserzugabe	-	2,7	1,7	3,0	-	5,3	7,6
Frischbetonrohdichte	2,43	2,42	2,49	2,31	2,32	2,34	2,35
Würfeldruckfestigkeit (N/mm²)							
nach 28 Tagen	42	47	48	55	52	49	43
bei Versuchsdurchführung	46	54	66	64	63	52	49

*) bezogen auf das Zementgewicht

**) bezogen auf das Betongewicht

***) soweit feststellbar; gemessen nach Betonverflüssigerzugabe

2.4 Durchführung der mechanischen Versuche

Für die Durchführung der Biegezugversuche stand im Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz ein servohydraulisch geregelter Hochtemperaturprüfstand zur Verfügung (vgl. Bild 2 und 3). An dem Versuchsstand waren vor Versuchsbeginn kleinere Umbauten und Ergänzungen erforderlich.

Der Prüfstand besteht aus drei Komponenten:

- einem mechanischen Teil zur Erzeugung einer servohydraulisch geregelten Kraft und deren Messung,
- einem Ofen mit regelbarem Heizsystem,
- einem Hochtemperatur-Dilatometer zur Messung der Durchbiegung.

Der mechanische Teil der Ausziehvorrichtung (s. Bild 4) besteht aus einer kreisförmigen Druckplatte, auf der ein Stahlrahmen für die Lagerung des Probekörpers aufliegt, sowie einem Stahlzylinder und einer Hohlkolbenpresse, die auf einer Konsole befestigt sind. Die Biegekraft wird mittels eines Belastungsrahmens, an den eine Zugstange angeschweißt ist, auf den Probekörper übertragen. Der Probekörper ist über zylindrische Stäbe, von denen einer frei beweglich und der andere fest verschweißt ist, auf dem Stahlrahmen gelagert. Die Druckplatte, der Stahlrahmen, der Belastungsrahmen und die Zugstange aus zunderfreiem, warmfesten Stahl und der obere Teil des Zylinders befinden sich im Ofenraum. Am unteren Teil des Stahlzylinders ist ein Flansch angeschweißt. Zwischen diesem und einem weiteren Flansch, der auf der Konsole befestigt ist, ist die Hohlkolbenpresse eingebaut. Am freien Ende des Hohlkolbens ist ein Ringkraftaufnehmer befestigt. Der Ringkraftaufnehmer dient als Istwertgeber für den Hydraulikregelkreis und zur Messung der angelegten Prüfkraft.

Den Kraftschluß zwischen Zugstab und Kraftmeßdose sowie Hohlkolbenpresse übernimmt eine Klemmvorrichtung, wie sie als Keilverankerung im Spannbetonbau üblich ist. Die Kraftregelung erfolgt servohydraulisch. Das Hydraulikaggregat erzeugt im Ölkreislauf einen Öldruck, der über das Servoventil zum Belastungszylinder geführt wird. Eine Meß- und Regeleinheit übernimmt die Steuerung der Anlage.

Die Anlage ist so konzipiert, daß auch bei 800 °C eine maximale Kraft von 200 kN aufgebracht werden kann. Der untere, außerhalb des Ofens liegende Teil des Stahlzylinders muß gekühlt werden, da bei Ofentemperaturen über 300 °C die natürliche Konvektion nicht ausreicht, um eine Überhitzung und damit verbunden eine Schädigung des Hydrauliköls im Ölkreislauf zu verhindern.

Um den Wärmeabfluß aus dem Ofen durch die Stahleinbauteile möglichst gering zu halten, sind die Druckplatte, der Stahlzylinder und der Belastungsrahmen mit einer Wärmeisolationsschicht versehen.

Die Heizvorrichtung besteht aus einem Kammerofen (vgl. Bild 4) und einer Regereinheit. Der Kammerofen ist über Rollenlager und Profileisen mit einem Ständerwerk verbunden und kann bei geöffneter Fronttür leicht verschoben werden, so daß die Druckplatte von allen Seiten her gut zugänglich wird und ein bequemer Einbau sowie eine genaue Justierung des Probekörpers gewährleistet sind.

Die obere Ofenabdeckung enthält eine Bohrung, durch die Quarzstäbe zur Übertragung der Durchbiegung auf das Dilatometersystem geführt werden (vgl. Bild 4).

Um eine möglichst homogene Temperaturverteilung im Ofen zu erreichen, ist die Heizung des Ofens in drei Heizzonen aufgeteilt, die unabhängig voneinander geregelt werden können. Zur thermischen Entkopplung der drei Heizzonen dienen Konvektionsbleche. Die Temperaturregelung erfolgt elektronisch im geschlossenen Regelkreis, und zwar für jede Heizzone getrennt. Den Istwertgeber für die entsprechenden Heizzonen bilden NiCr-Ni-Thermoelemente, die in der Nähe der Oberfläche der Probekörper angebracht sind. Ein Sollwertgeber liefert das Vergleichssignal. Soll- und Istwert werden im Führungsregler ständig verglichen. Das erzeugte Differenzsignal dient zur Steuerung des Thyristorstellgliedes. Die beiden Seitenregler in der mittleren und oberen Heizzone, die ebenso wie der Führungsregler als PID-Regler aufgebaut sind, erhalten ihren Istwert ebenfalls aus Thermoelementen von der Probenoberfläche, als Sollwertgeber dient hier jedoch der Führungsregler.

Der Sollwertgeber gestattet es, lineare bzw. rampenförmige Temperaturprogramme vorzugeben, wobei die Aufheizgeschwindigkeiten zwischen 20 K/min (= 1200 K/h) und 0,02 K/min (= 1,2 K/h) variiert werden können. Die Maximaltemperatur wird über ein Potentiometer am Führungsregler eingestellt. Die Haltezeit kann an

einer Schaltuhr vorgewählt werden. Die Abkühlung kann ebenfalls geregelt erfolgen. Die Regelung im Abkühlungsweig versagt, wenn die natürliche Abkühlgeschwindigkeit des Ofens, die sich exponentiell mit der Zeit verringert, von der vorgewählten Abkühlgeschwindigkeit überschritten wird.

Die Probentemperaturen wurden mit auf der Probenoberfläche angebrachten Eisen-Konstantan-Thermoelementen (nach DIN 43 710) gemessen und mit Hilfe von Kompensationsschreibern aufgezeichnet.

Zur Messung der Durchbiegung wurden zwei Quarzglasstäbe aus dem Ofen herausgeführt und jeweils durch ein Parallelenkersystem über dem Auflager leicht gegen den Probekörper bzw. in Probenmitte gegen den Belastungsrahmen gedrückt. Das eine Parallelenkersystem enthält eine Halterung, in die der induktive Wegaufnehmer eingespannt ist. Die Tastspitze des Wegaufnehmers wird federnd gegen das zweite Parallelenkersystem gedrückt. Das Meßsignal wird dann nach geeigneter Verstärkung und Gleichrichtung mit einem Linien- oder X-Y-Schreiber aufgezeichnet.

Die Versuchsdurchführung zur Ermittlung der Biegezugfestigkeit bei hohen Temperaturen ist in Bild 6 dargestellt. Zum Zeitpunkt $t = 0$ waren die Prismen im Prüfstand eingebaut, und es erfolgte mit konstanter Aufheizgeschwindigkeit von 2 K/min die Aufheizung auf die gewünschte Maximaltemperatur T_{\max} . Nach dem Erreichen der Maximaltemperatur wird der Probekörper ca. 2 h homogenisiert. Zum Zeitpunkt t^* wird mit der mechanischen Belastung der Probe begonnen. Die Kraft wird dabei so gesteuert, daß sich eine konstante Durchbiebungsgeschwindigkeit ergibt.

Während der Belastung werden die mechanische Belastung und die Durchbiegung ständig gemessen und auf einem X-Y-Schreiber registriert.

Aufgrund der Regelungsart (Regelgröße ist die Durchbiegung) lassen sich beim stahlfaserbewehrten Beton auch noch die Kraft-Durchbiegungs-Beziehungen nach Überschreiten der Höchstlast gewinnen. Bei unbewehrtem Beton versagen die Proben jedoch nach Überschreiten der Maximallast meist schlagartig. Um auch bei diesen Proben den abfallenden Ast erfassen zu können, müßte die Belastungsvorrichtung noch wesentlich steifer und die Regelung um ein Vielfaches schneller ausgelegt sein.

Die Tieftemperaturuntersuchungen wurden gegenüber dem ursprünglich geplanten Umfang stark reduziert und auf thermische Belastungen beschränkt, die eine besonders starke Strukturauflockerung durch Mikrorißbildung verursachen. Denn es war zu erwarten, daß gerade bei derartig geschädigten Betonen bzw. Mörteln die Wirkung der Stahlfaserverstärkung am deutlichsten hervortritt.

Die stärksten Strukturschädigungen weisen Mörtel und Betone auf, die im wasser-satten Zustand schockartig auf tiefe Temperaturen abgekühlt werden. Insbesondere nach dem Wiederauftauen zeigen entsprechende Proben einen starken Abfall des E-Moduls und der Druckfestigkeit, weil dann die Strukturauflockerungen nicht mehr durch rißüberbrückende Verzahnungen des gefrorenen Wassers kompensiert werden können /17/. Die Biegezuguntersuchungen, die im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens durchgeführt wurden, erfolgten daher ebenfalls an schockartig abgekühlten Proben nach dem Wiederauftauen.

Die Proben wurden dem Wasserlagerungsbecken entnommen, mit Tüchern oberflächlich abgetrocknet und einen Tag lang an der Atmosphäre bei 20 °C und ca. 65 % r.F. nachgetrocknet. Dann wurden jeweils vier bis sechs Proben in eine Thermobox (30 cm x 30 cm x 30 cm) eingelagert (s. Bild 7) und durch Besprühen mit flüssigem Stickstoff auf - 196 °C abgekühlt (s. Bild 8). Nach dem Erreichen der Stickstoffsiedetemperatur wurden die Proben noch 12 h lang thermisch homogenisiert. Dann wurde die Thermobox geöffnet, und die Probe konnte sich innerhalb von 24 h wieder auf Raumtemperatur erwärmen.

Die Temperaturen der Probekörper wurden mittels Thermoelementen, die auf der Probenoberfläche angebracht waren, gemessen und ständig registriert. Ein kompletter Temperaturzyklus ist in Bild 7 dargestellt. Nach dem Auftauen wurden die Proben entsprechend Bild 7 mit konstanter Durchbiebungsgeschwindigkeit bis zum Versagen belastet.

2.5 Strukturanalytische Untersuchungen

Die Strukturveränderungen infolge der thermischen Belastungen wurden mit Hilfe der Quecksilberdruckporosimetrie untersucht. Dieses Verfahren beruht auf der Tatsache, daß die nicht benetzende Flüssigkeit Quecksilber ohne äußeren Druck nicht in die Poren eines Festkörpers eindringen kann. Wendet man jedoch einen

Druck auf, so werden immer genau diejenigen Poren mit Quecksilber gefüllt, deren Radius nach Gleichung (1) dem aufgewandten Druck entspricht. In Gleichung (1), die vereinfachend eine kreiszylindrische Porenform voraussetzt, ist σ die Oberflächenspannung des Quecksilbers, δ der Kontaktwinkel zwischen Quecksilber und Festkörper, Δp der aufgebrauchte Druck und R der Radius der Poren.

$$\Delta p = \frac{- 2 \sigma \cos \delta}{R} \quad (1)$$

Für σ und δ wurden die Werte $\sigma = 0,48 \text{ N/m}$ und $\delta = 141.4^\circ$ verwendet. Aus Gleichung (1) erhält man damit die folgende Beziehung:

$$R [\text{m}] = \frac{7,5 \cdot 10^{-6}}{p [\text{bar}]} \quad (2)$$

Das Porenradienintervall, in dem die Porosität ausgemessen werden kann, wird durch den Druckbereich des verwendeten Gerätes festgelegt. Für die vorliegenden Untersuchungen wurde ein Hochdruckporosimeter der Firma Carlo Erba mit einem Druckbereich von 1 - 2000 bar eingesetzt, wodurch - vgl. Gl. (2) - ein Porenradienbereich von etwa 4 nm bis 7,5 μm meßtechnisch erfaßbar war. Die Abmessungen der zur Messung verwendeten Proben waren durch das Probengefäß des Gerätes vorgegeben und betrugen 10 mm im Durchmesser und 40 mm in der Länge. Die Proben wurden mit Hilfe einer Diamantbohrkrone naß aus den größeren Probekörpern herausgesägt und in einem Röhrenofen mit einer Aufheizgeschwindigkeit auf die gewünschten Temperaturen aufgeheizt. Sie wurden dann 2 h auf der entsprechenden Temperatur gehalten. Nach der Abkühlung wurden die Proben nochmals im Probengefäß wenigstens zwei Stunden lang auf 10^{-2} Torr evakuiert. Bei nicht aufgeheizten Proben wurde die Zeit unter Vakuum auf ca. 7 Tage ausgedehnt, um zu gewährleisten, daß das verdampfbare Wasser vor Beginn der Penetration weitestgehend entfernt ist.

Die Messung ergibt neben dem Gesamtporenvolumen des Porenradiusbereichs 3,75 nm bis 7,5 μm eine integrale Porenradiusverteilung, bei der die Porenvolumina über die Porenradien aufgetragen werden. Zur Darstellung der Porenradienverteilung muß die differentielle Verteilung berechnet werden, woraus dann direkte Aussagen über die Häufigkeit der auftretenden Porenradien gewonnen werden können.

Die integrale Verteilung wird dazu durch sich einander überlappende logarithmische Ausgleichsfunktionen approximiert, wobei jedes Intervall der Ausgleichsfunktion exakt logarithmisch differenziert einen Punkt der gesuchten Verteilung ergibt.

Aufgrund der besonderen Art der Ergebnisdarstellung ($dV/d \log R$ über $\log R$) repräsentieren gleiche Flächen unter den Verteilungskurven ($dV/d \log R$) gleiche Porenvolumen, und man hat die Möglichkeit, Verschiebungen in den Verteilungsfunktionen aufgrund von Temperaturbelastungen direkt vergleichen zu können.

3. Versuchsergebnisse

3.1 Biegezugfestigkeit bei Raumtemperatur

Jeweils zu Beginn der Biegezugprüfungen einer bestimmten Betonserie wurden zwei Probewürfel der gleichen Serie getestet, um im gleichen Betonalter Bezugswerte zwischen der Druckfestigkeit und der Biegezugfestigkeit zu gewinnen. Die entsprechenden Würfeldruckfestigkeiten sind zusammen mit den 28-Tage-Druckfestigkeiten, den 28-Tage-Rohdichten und den ermittelten 20 °C-Biegezugfestigkeiten in Tabelle 5 zusammengestellt.

Die Biegezugfestigkeiten (β_{bz}) wurden aus den jeweiligen Höchstlasten (F_{\max}) der gemessenen Kraft-Durchbiegungs-Linien (vgl. Bild 10) ermittelt, wobei die Biegezugfestigkeit wie üblich als Quotient aus Biegemoment M und Widerstandsmoment W definiert wurde:

$$\beta_{bz} = M/W \quad (3)$$

Mit den Probekörperdimensionen $h = 7,2 \text{ cm}$, $b = 6,4 \text{ cm}$ und der Stützweite $l = 26 \text{ cm}$ ergibt sich für die Biegezugfestigkeit

$$\beta_{bz} = \frac{F_{\max} \cdot l}{4 \cdot b \cdot h^2} = 1,144 \cdot F_{\max} \quad (4)$$

Bei den in der Tabelle 5 angegebenen Biegezugfestigkeiten handelt es sich jeweils um den Mittelwert aus drei Messungen.

Tabelle 5: Festbetonkennwerte der untersuchten Probemischungen

Mischungs- bezeichnung	$\beta_{w,28d}$ (N/mm ²)	$\beta_{w,Prüfalter}$ (N/mm ²)	Prüfalter (d)	$\beta_{bz}(20^{\circ}\text{C})$ (N/mm ²)	Rohdichte 28 d (kg/dm ³)
SF-Q	51	59	63	6,67	2,35
SF-D	54	59	59	7,62	2,48
KS-I	63	71	56	8,63	2,47
Ko	51	53	667	9,95	2,48
Km	48	51	667	9,93	2,46
Do	52	59	143	7,17	2,49
Dm	48	55	143	6,33	2,52
Qo	54	65	154	7,01	2,42
Qm	52	58	154	6,78	2,42
Qm1	59	61	782	8,27	2,39
Qm2	60	61	782	8,48	2,40
Qm1	36	46	217	8,48	2,24
Qmw	55	63	217	8,35	2,45
Qm0,55	54	59	762	9,02	2,43
Qm0,65	42	46	762	8,37	2,40
QH3	47	54	104	6,71	2,45
QH6	48	66	655	8,29	2,51
Mo	55	64	749	7,75	2,33
Mm	52	63	749	7,38	2,34
MH 6	49	52	49	6,78	2,31
MH12	43	49	107	7,09	2,34

Wie man der Tabelle 5 entnehmen kann, unterscheiden sich die faserbewehrten Betone hinsichtlich der maximal aufnehmbaren Lasten, d. h. der Biegezugfestigkeit, kaum von den unbewehrten Referenzbetonen. Oft weisen die Referenzbetone sogar höhere Biegezugfestigkeiten auf als die entsprechenden Faserbetone (siehe z.B. Do-Dm oder Qo-Qm). Außerdem liefern Betone mit steigendem Fasergehalt nicht immer im gleichen Maße höhere Biegezugfestigkeiten. Das Gleiche gilt auch für die Würfeldruckfestigkeiten.

Die Biegezugfestigkeiten korrelieren - mit Ausnahme der Serien Qm1, Qm0,55, Qm0,65, Ko und Km - gut mit den Würfeldruckfestigkeiten. Daraus kann u.a. abgeleitet werden, daß die Würfeldruckfestigkeiten und die Biegezugfestigkeiten - bei den hier vorliegenden Fasergehalten - hauptsächlich von der Zementsteinfestigkeit und der Güte der Frischbetonverdichtung abhängen. Besonders deutlich wird das, wenn man die Serien Qm, Qm0,55 und Qm0,65 ($W/Z = 0,485$; $0,55$ bzw. $0,65$) miteinander vergleicht. Mit steigendem W/Z -Wert ergeben sich zwar geringere Zementsteinfestigkeiten, die Verdichtungswilligkeit verbessert sich jedoch.

Beim Faserbeton Qm0,55 liegt hinsichtlich Verdichtungswilligkeit und Zementsteinfestigkeit ein Optimum vor: Die Zementsteinfestigkeit ist durch den erhöhten W/Z -Wert noch nicht zu stark reduziert, und die Verarbeitbarkeit ist schon ausreichend gut. Beim Faserbeton Qm0,65 ist dagegen die Verarbeitbarkeit zwar gegenüber dem Faserbeton Qm0,55 verbessert, die dadurch erhaltene geringere Anzahl von Fehlstellen wird jedoch von der geringeren Festigkeit des entstehenden Zementsteins schon überkompensiert.

Der Faserbeton Qm1 ließ sich wegen der längeren Fasern sehr schwer verdichten und zeigte auch eine im Vergleich zu den anderen Faserbetonen geringere Rohdichte. Die Würfeldruckfestigkeit fiel demgemäß auch geringer aus. Die Biegezugfestigkeit liegt trotzdem relativ hoch. Dies ist offenbar auf den besseren Verbund der längeren Fasern zurückzuführen.

Die Kalksteinbetone nehmen eine Sonderstellung ein, weil diese Mischungen jeweils die höchsten Biegezugfestigkeiten aufweisen. Dafür sind im wesentlichen zwei Mechanismen verantwortlich:

- Durch die rauhere Oberfläche der gebrochenen Zuschläge ergibt sich eine bessere Verzahnung zwischen den Grobzuschlägen und dem Matrixmörtel als bei gerundeten Zuschlägen /18/.
- Infolge des mineralogischen Aufbaus der Zuschläge ist auch die Haftung des Zementsteins bei Kalksteinzuschlägen besser als bei mineralogisch andersartig aufgebauten Zuschlägen /19/.

Die Mörtelmischungen verhalten sich ähnlich wie die Betone. Auch hier resultiert aus der Zugabe von Stahlfasern keine Erhöhung der Biegezugfestigkeit. Vielmehr zeigt die Referenzmischung ohne Fasern, weil sie eine höhere Dichtigkeit aufweist, höhere Biegezugfestigkeiten als die Mischungen mit Stahlfasern.

Besonders deutlich wird das bei den Mischungen MH6 und MH12. Hier können zwar ohne Schwierigkeiten 6 bzw. 12 Gew.-% gefräste Fasern zugesetzt werden, der Luftporengehalt der frischen Mörtel nimmt jedoch mit steigendem Fasergehalt deutlich von 2 % (ohne Fasern) auf 7,6 % (12 Gew.-% Fasern) zu. Im gleichen Maße zeigen die Mörtel ein Absinken der Würfeldruckfestigkeit von 64 N/mm² auf 49 N/mm², während sich die Biegezugfestigkeit von 7,75 N/mm² auf 6,78 N/mm² (6 Gew.-% Fasern) bzw. auf 7,09 N/mm² (12 Gew.-% Fasern) erniedrigt.

Die gefrästen Fasern zeigten zwar bei der Verarbeitung die günstigsten Eigenschaften. Die verklebten Hakenfasern, bei denen ebenfalls keine nennenswerten Schwierigkeiten bei der Verarbeitung auftraten, erwiesen sich sowohl hinsichtlich der Druckfestigkeit als auch hinsichtlich der Biegezugfestigkeit am wirksamsten von allen untersuchten Faserarten.

Die Stahlfaserbetone zeigen unter ansteigender Belastung bis zum Anriß der Zugrandfaser nahezu die gleichen Kurvenverläufe wie die Referenzbetone ohne Fasern (s. Bilder 10 bis 29). Daraus folgt, daß die zugegebenen Stahlfasern auch andere Stoffeigenschaften wie Bruchdehnung der Zugrandfaser und E-Modul nur unwesentlich beeinflussen.

Werden den Proben jedoch größere Dehnungszustände aufgezwungen, kollabieren die unbewehrten Betone aufgrund unzureichender Maschinensteifigkeit bzw. zu langsamer Regelgeschwindigkeit sofort. Die Faserbetone zeigen dagegen zunächst

einen schnellen Abfall der aufnehmbaren Kräfte auf ein bestimmtes Niveau. Dieses Niveau hängt im wesentlichen vom Fasergehalt und von der Faserart ab. Nach dem Erreichen des Niveaus nimmt die aufnehmbare Biegekraft nur noch sehr gering mit zunehmendem Dehnweg ab.

Der Übergangsbereich - Einsetzen des Bruchs bis zur Stabilisierung auf dem unteren Niveau - wurde meistens sehr schnell durchlaufen und konnte dann wegen zu großer Trägheit der Registriergeräte nicht bei allen Betonen aufgezeichnet werden. Er ist daher in den Bildern 10, 11, 12 usw. als strichpunktierte Linie dargestellt worden.

Das untere Niveau ist bei den Stahlfaserbetonen mit 3 % Fasern (Wirex 0,4/25 mm) nahezu unabhängig von dem mineralogischen Aufbau und dem Größtkorn der Zuschläge und vom Bindemittelgehalt. Es liegt in einem relativ engen Band zwischen 3,46 und 3,82 kN (Serien SF-Q, SF-D, Qm, Qm 0,65 Mm und Km (vgl. nachfolgende Tabelle 6)).

Tabelle 6: Von den Prismen nach Überschreiten der Höchstlast im gerissenen Zustand aufnehmbare Biegekräfte (F_{ger})

Betonserie	F_{ger} [kN]	Bemerkung
SF-Q	3,51	-
SF-D	3,46	-
Qm	3,60	-
Dm	2,63	-
Qm1	0,44	-
Qm2	2,28	-
Qm1	4,82	-
Qmw	6,05	-
Qm0,55	4,25	-
Qm0,65	3,82	-
Mm	3,55	-
Km	3,68	-
MH6	-	versagt bei Höchstlast
MH12	3,25	versagt nach 0,8 mm Durchbiegung
QH3	-	versagt bei Höchstlast
QH6	-	versagt bei Höchstlast

Bei Verwendung eines geringeren Fasergehalts sinkt das Niveau (F_{ger}) jedoch deutlich ab. Bei einem Fasergehalt von 2 % (Wirex 0,4/25 mm) beträgt F_{ger} nur noch 2,28 kN, bei 1 % Fasergehalt noch 0,44 kN.

Durch die Verwendung von Fasern, die günstigere Verbundeigenschaften aufweisen, läßt sich F_{ger} jedoch deutlich steigern; bei langen Fasern erreicht man 4,82 kN und bei Verwendung von 3 % Winkelhakenfasern sogar 6,05 kN.

Auch durch die Verbesserung der Fließfähigkeit des Betons erreicht man günstigeren Verbund zwischen den Fasern und der sie umgebenden Feinmörtelmatrix, wie die relativ hohen Werte von F_{ger} bei den Betonen mit den höheren W/Z-Werten deutlich machen (vgl. Q_m mit $Q_{m0,55}$ und $Q_{m0,65}$).

Bei den gefrästen Harexfasern ist der Verbund zwischen Fasern und Matrix so stark, daß im allgemeinen kein Versagen durch Ausziehen oder Schlupf der Fasern mehr auftritt. Die Fasern werden voll zugbeansprucht und reißen im allgemeinen nach Probekörperdurchbiegungen von ungefähr 0,2 mm. Nur bei dem sehr hohen Fasergehalt von 12 % lassen sich stärkere Durchbiegungen ohne Kollaps der Probe realisieren, jedoch beginnen auch bei diesen Proben nach Durchbiegungen von ca. 0,8 mm die Stahlfasern in der Zugrandfaser der Prismen zu reißen, und die Proben brechen durch.

3.3 Biegezugfestigkeit bei erhöhten Temperaturen

Durch die Einwirkung hoher Temperaturen wird das Biegezugverhalten von Beton und Mörtel einschneidend verändert. Bei nahezu allen untersuchten Mischungen reagieren die Proben im Hochtemperaturbereich biegeweicher als bei Raumtemperatur; d.h. bei hohen Temperaturen werden bei gleicher Last größere Durchbiegungen gemessen als bei 20 °C. Als Ursache dafür ist der starke Abfall des Beton-E-Moduls infolge Temperaturbeanspruchung anzusehen. Gleichzeitig verringern sich bei hohen Temperaturen die von den Proben maximal aufnehmbaren Biegezugkräfte (vgl. Bilder 10 bis 38).

Bei den unbewehrten Proben tritt das Versagen nach Durchbiegungen von etwa 0,2 mm auf. Sie liegen also in der gleichen Größenordnung wie bei Raumtemperatur. Bei den Stahlfaserbeton- und -mörtelserien können die Proben wie bei

Umgebungstemperatur auch nach dem Überschreiten der Höchstlast noch erhebliche Kräfte (F_{ger}) aufnehmen. Die Kräfte nehmen im allgemeinen mit zunehmender Durchbiegung nur relativ langsam ab. Der Übergang von der Höchstlast bei makroskopisch ungerissenem Probekörper auf das untere Lastniveau nach dem Bruch der Zugrandfaser ist jedoch bei thermisch beanspruchten Proben wesentlich weicher als bei den Raumtemperaturproben.

Die Biegezugfestigkeit β_{bz} , d.h. das maximal aufnehmbare Moment dividiert durch das Widerstandsmoment, erfährt bei fast allen hier untersuchten Probenmischungen bereits bei einer Beanspruchung mit 150 °C einen drastischen Abfall auf Werte von 40 bis 50 % der jeweiligen 20 °C-Biegezugfestigkeit. Bei weiterer Temperaturerhöhung tritt bei allen Betonen und Mörtel eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Erhöhung der Biegezugfestigkeit auf. Die gemessenen Biegezugfestigkeiten zeigen in diesem anschließenden Temperaturbereich ($150 < T < 450$ °C) im allgemeinen sehr große Variationen. Während beispielsweise bei der einen Betonserie (Qo) die Biegezugfestigkeit bei 450 °C auf 25 % des Ausgangswertes (bei 20 °C) abgefallen ist, wurden bei der vergleichbaren Betonserie mit Fasern noch 75 % der Ausgangsbiegezugfestigkeit gemessen (vgl. Bild 30).

Jedoch werden die Biegezugfestigkeiten - wie bei Raumtemperatur - auch im Hochtemperaturbereich vergleichsweise wenig vom Fasergehalt (vgl. Bild 30) oder anderen betontechnologischen Parametern beeinflusst (s. Bild 31 bis 38). So wirken sich Winkelhakenfasern, die bei Raumtemperatur ein sehr günstiges Verhalten zeigten, zwar bei 300 °C und bei 450 °C ebenfalls sehr günstig auf das Biegezugverhalten aus (vgl. Bild 32). Durch sie wird jedoch der sehr starke Festigkeitsabfall bei 150 °C nicht verhindert. Die einzige Betonserie, bei der der starke Festigkeitsabfall bei 150 °C nicht auftrat, war die Serie mit den langen Stahlfasern (Wirex 0,4/25 mm). Daraus könnte gefolgert werden, daß die Stahlfasern eine Mindestlänge (z.B. 2 x Größtkorndurchmesser) aufweisen müssen, um Kontaktzonenrisse überbrücken zu können; dagegen sprechen jedoch die Ergebnisse der Mörteluntersuchungen. Denn bei den Mörteln (z.B. Serie Mm mit Größtkorn 8 mm) würden die hier verwendeten Stahlfasern ($l = 25$ mm) in jedem Fall die erforderliche Länge aufweisen.

Nach Überschreiten von 450 °C nimmt die Biegezugfestigkeit weiter ab. Bei 600 °C weisen die quarzhaltigen Mischungen nahezu unabhängig von den sonstigen betontechnologischen Parametern (Stahlfasergehalt, W/Z-Wert usw.) fast einheitlich eine Biegezugfestigkeit von 2 N/mm² auf. Lediglich die Mischungen

mit gebrochenen Zuschlägen und die Mörtel mit sehr hohem Gehalt an Harexfasern zeigen hier etwas höhere Werte (ca. 3 N/mm²).

Auch noch bei 800 °C sind deutlich meßbare Biegezugfestigkeiten festzustellen. Hier ergeben sich ebenfalls einheitliche Werte, die von den sonstigen betontechnologischen Parametern nur wenig beeinflußt werden. Sie liegen um 1 N/mm².

Die Kräfte, die von den Stahlfaserbetonprismen nach Überschreiten der Höchstlast im gerissenen Zustand bei einer Durchbiegung von 1 mm noch aufgenommen werden können (F_{ger}), sind in der nachfolgenden Tabelle 7 zusammengestellt. Wie der Tabelle zu entnehmen ist, sind diese Kräfte bei einer Beanspruchungstemperatur von 150 °C im Mittel auf 72,4 % ihres jeweiligen Ausgangswertes bei 20 °C abgesunken. Auch hier setzt mit der weiteren Temperaturerhöhung zunächst eine Festigkeitserholung ein, denn bei 300 °C steigen die Werte im Mittel auf 86,3 % vom Ausgangswert an. Bei 450 °C beträgt F_{ger} im Mittel nur noch 64,7 %, und bei 600 °C ist F_{ger} bereits auf 32,2 % abgefallen.

Nach Erwärmung auf 800 °C brechen die Proben im allgemeinen bereits nach geringeren aufgezwungenen Durchbiegungen. Nur von den Proben mit Winkelhakenfasern werden nach 1 mm starker Durchbiegung noch meßbare Kräfte aufgenommen. F_{ger} beträgt hierbei noch etwa 20 % vom Ausgangswert.

Die Proben mit Harexfasern versagen - wie schon bei Raumtemperatur - fast alle bei geringeren Durchbiegungen als 1 mm. Nur bei den sehr stark bewehrten Proben der Serien MH6, MH12 und QH6 wurden vereinzelt Durchbiegungen von 1 mm ohne Kollaps der Proben erzielt. Auch bei erhöhten Temperaturen wurden kaum Harexfasern aus der Matrix herausgezogen. Das Versagen trat aufgrund der guten Verbundwirkung fast immer durch Reißen oder Abbrechen der Fasern ein.

Dennoch wirkt sich die Zugabe von Harexfasern günstig auf die Biegezugfestigkeit aus; insbesondere im Temperaturbereich 300 °C bis 600 °C. Denn die Proben versagen nicht plötzlich und ohne Vorwarnung wie bei den unbewehrten Mischungen. Das Maximum in den Kraft-Durchbiegungs-Charakteristiken wird meist nach viel größeren Durchbiegungen erreicht als bei den unbewehrten Vergleichsmischungen, und oft schließt sich bei aufgezwungener zunehmender Durchbiegung ein sehr langsam und stetig abfallender Ast der Kraft-Durchbiegungs-Charakteristik an das Maximum an (vgl. Bilder 22 und 27).

Tabelle 7: Von den Prismen nach Überschreiten der Höchstlast im gerissenen Zustand aufnehmbare Kräfte (Durchbiegung 1 mm)

Betonserie	Aufnehmbare Kraft (F_{gerissen}) in kN					
	20 °C	150 °C	300 °C	450 °C	600 °C	800 °C
SF-Q	3,51	2,76	2,41	1,67	0,44	-
SF-D	3,46	1,89	2,89	2,41	1,10	-
Qm	3,60	2,28	-	2,46	1,27	*)
Dm	2,63	2,15	2,63	2,81	0,53	*)
Qm1	0,44	1,05	-	-	0,96	-
Qm2	2,28	2,02	-	-	0,96	-
Qm1	4,82	3,77	-	-	1,75	-
Qmw	6,05	2,37	3,68	-	1,00	0,68
Qm0,55	4,25	3,25	-	-	1,18	-
Qm0,65	3,82	2,89	-	-	1,32	-
Mm	3,55	3,77	3,55	2,02	1,01	-
Km	3,68	2,32	-	-	2,02	-
MH6	*)	*)	*)	*)	0,79	*)
MH12	*)	2,24	*)	*)	2,15	*)
QH3	*)	*)	*)	*)	*)	*)
QH6	*)	*)	*)	*)	*)	0,53

*) Kollaps der Probekörper bei kleineren Durchbiegungen als 1 mm.

Erste Hinweise auf die Ursachen der bei den hohen Temperaturen auftretenden Verringerungen der Biegezugfestigkeit geben die bei den Biegebeanspruchungen entstehenden Bruchflächen (vgl. Bilder 39 bis 49).

Das Bild 39 zeigt die Bruchfläche eines stahlfaserbewehrten Diabasbetonprobekörpers (Serie Dm), der bei Raumtemperatur geprüft wurde. Man erkennt die aus der Matrix herausgezogenen Stahlfasern sowie die Grobzuschläge und die Feinmörtelmatrix. Die makroskopische Bruchfläche verläuft relativ glatt. Sowohl die Grobzuschläge (dunkle Bereiche) als auch die Mörtelmatrix (helle Bereiche) sind gerissen.

Bild 40, das die Bruchfläche eines bei 150 °C geprüften Probekörpers zeigt, kann man entnehmen, daß die makroskopische Reißfläche nur noch ganz vereinzelt durch die Grobzuschläge verläuft. Die Reißfläche verläuft vielmehr in der Kontaktzone zwischen Grobzuschlag und Mörtelmatrix um die Grobzuschläge herum. Weiterhin erkennt man in Bild 40 die Stahlfasern, die aus der Bruchfläche herausragen.

Das Aussehen der Bruchfläche ändert sich auch nicht wesentlich nach Aufheizung auf 300 °C bzw. 450 °C gegenüber der Aufheizung auf 150 °C (vgl. Bilder 41 und 42). Man erkennt jedoch bereits, daß die Bruchfläche bei 300 °C bzw. 450 °C selbst netzartig mit Rissen durchzogen ist. Diese Risse verbreitern sich mit zunehmender Temperatur, wie aus den Bildern 41, 42 und 43 hervorgeht. Die Stahlfasern wurden bei den Proben, die bei 300 °C und 450 °C geprüft wurden, noch auf ihre volle Länge aus der Matrix herausgezogen. Bei den Probekörpern, die bei 600 °C geprüft wurden, vergrößern sich die netzartig um die Zuschläge verlaufenden Risse gegenüber den 450 °C-Proben nochmals. Ein Großteil der Fasern wird noch aus der Matrix herausgezogen; teilweise überwiegt aber schon die Verbundkraft die Hochtemperaturzugfestigkeit der Fasern, so daß sie infolge der mechanischen Beanspruchung durchgerissen wurden (s. Bild 43).

Aus der Bruchfläche der mit 800 °C beanspruchten Proben ragen nur noch vereinzelt Stahlfasern heraus (s. Bild 44). Die Bruchfläche unterscheidet sich kaum von der Bruchfläche eines ebenfalls auf 800 °C aufgeheizten unbewehrten Probekörpers (s. Bild 45). Daraus ist zu folgern, daß bei 800 °C die Stahlfaserzugfestigkeit bereits von der Verbundfestigkeit überschritten ist. Die Stahlfasern können daher nicht mehr aus der Matrix herausgezogen werden, sondern reißen in der freien Länge zwischen den beiden Reißflächen.

Beim quarzhaltigen Kiesbeton kann man ein ähnliches Verhalten wie beim Diabasbeton beobachten (vgl. Bilder 46 bis 49). Auch hier verläuft der Bruch bei Raumtemperatur sowohl durch die Grobzuschläge als auch durch die Feinmörtelmatrix (Bild 46). Schon bei den 150 °C-Proben ist eine deutliche Verlagerung der Bruchflächen in die Kontaktzonen zwischen Zuschlag und Zementstein zu erkennen (Bild 47). Ebenso wie beim Diabasbeton beginnen die Stahlfasern ab 600 °C bei der Biegebeanspruchung der Proben zu reißen (Bild 48). Bei den mit 800 °C beanspruchten Proben sind nur noch am Rand des Probekörpers

Stahlfasern zu erkennen. Der überwiegende Teil der Fasern versagt in der freien Länge zwischen den Rißufern.

Ebenso wie beim Diabasbeton werden die Bruchflächen bei Temperaturen ab 450 °C mit zunehmendem Temperaturniveau immer stärker mit netzartig verlaufenden Rissen durchzogen.

Ähnliche Beobachtungen wurden mit allen anderen Betonmischungen, die Fasern aus gezogenen Drähten enthielten, auch gemacht. Die mit gefrästen Fasern bewehrten Betone bzw. Mörtel weisen ein etwas davon abweichendes Bruchbild auf. Bei ihnen werden die Fasern aufgrund des guten Verbundes zwischen Matrix und Fasern im Verlaufe der mechanischen Beanspruchung nicht aus der Matrix herausgezogen, sondern brechen bei entsprechend hoher Zugbeanspruchung. Die Bruchflächen weisen daher fast keine aus der Bruchfläche herausragenden Fasern auf.

3.3 Biegezugfestigkeit nach Tieftemperaturbeanspruchung

Die schockartige Tieftemperaturbeanspruchung ruft ebenso wie die Hochtemperaturbeanspruchung starke Veränderungen im Verhalten der Proben bei Biegezugbeanspruchung hervor. Wie aus den Bildern 50 bis 56 hervorgeht, zeigen die tieftemperaturgeschädigten Proben im allgemeinen einen flacheren Anstieg der Kraft-Durchbiegungs-Charakteristiken als die bei Normaltemperatur geprüften Proben. Gleichzeitig sind die maximal aufnehmbaren Kräfte bzw. die Biegezugfestigkeiten der tieftemperaturgeschädigten Proben gegenüber den thermisch ungeschädigten Referenzproben erniedrigt.

Wie aus der Tabelle 8, in der die Biegezugfestigkeiten der Referenzproben und der tieftemperaturbeanspruchten Proben zusammengestellt sind, hervorgeht, weisen die unbewehrten Proben im allgemeinen deutlich geringere Biegezugfestigkeiten auf als die vergleichbaren Stahlfaserbetonproben. Eine Ausnahme bildet hierbei nur die Serie Qm2, bei der die bezogene Biegezugfestigkeit mit 51,3 % etwas geringer ausgefallen ist als bei der Vergleichsmischung Qo mit 61,3 %. Dies könnte jedoch damit zusammenhängen, daß die Mischung Qm2 einen etwas höheren W/Z-Wert aufweist als die Mischung Qo (vgl. auch Tabelle 4b). Möglicherweise handelt es sich hierbei nur um herstellungs- oder versuchs-

Tabelle 8: Biegezugfestigkeiten von tieftemperaturbeanspruchten Proben im Vergleich zu unbeanspruchten Proben

Betonserie	therm.unbeansprucht [N/mm ²]	Biegezugfestigkeit tieftemperaturbeansprucht	
		[N/mm ²]	[%] ^{*)}
Qo	7,01	4,30	61,3
Qm	6,78	7,00	103,2
Qm1	8,48	6,25	73,7
Qm1	8,27	5,90	71,3
Qm2	8,48	4,50	53,1
Qm0,55	9,02	5,15	57,1
Qm0,65	8,37	4,75	56,8
Do	7,17	3,65	50,9
Dm	6,33	4,65	73,5
Ko	9,95	4,00	40,2
Km	9,93	5,75	57,9
Mo	7,75	3,25	41,9
Mm	7,38	6,00	81,3
MH6	6,78	4,80	70,8
MH12	7,09	6,43	90,7
QH3	6,71	6,00	89,4
QH6	8,29	6,40	77,2

*) bezogen auf die Biegezugfestigkeit der thermisch unbeanspruchten Referenzproben

bedingte Streuungen, denn die Mischung Qm1, die wie Qm2 ebenfalls einen W/Z-Wert von 0,485 aufweist, zeigt trotz geringeren Stahlfasergehalts nach der thermischen Schädigung eine höhere absolute Biegezugfestigkeit als die Mischung Qm2.

Die bei den Proben der Betonserien Qm0,55 und Qm0,65 infolge Tieftemperaturbeanspruchung aufgetretenen stärkeren Reduzierungen der Biegezugfestigkeiten scheinen jedoch eindeutig ihre Ursache in den höheren W/Z-Werten zu haben.

Die beobachtete höhere Festigkeit der tieftemperaturbeanspruchten Proben der Serie Qm gegenüber den unbeanspruchten Proben ist sicherlich auch auf versuchsbedingte Streuungen zurückzuführen. Im Mittel weisen die faserbewehrten Kiesbetone infolge der Tieftemperaturbeanspruchung jedoch einen Festigkeitsverlust von ca. 30 % auf (bezogen auf die Festigkeit der Referenzproben). Demgegenüber verliert der unbewehrte Vergleichsbeton etwa 40 % seiner ursprünglichen Biegezugfestigkeit.

Die Betone mit gebrochenen Zuschlägen wiesen bei den Referenzuntersuchungen die höchsten Biegezugfestigkeiten auf. Durch die Tieftemperaturbeanspruchung erleiden die unbewehrten Betone jedoch auch die stärksten Festigkeitseinbußen. Möglicherweise wird dies durch die auftretenden - im Vergleich zum Kiesbeton höheren - Gefügespannungen verursacht, denn bekanntermaßen besitzen Diabas- und Kalksteinzuschläge bedeutend geringere Ausdehnungskoeffizienten als die Zementsteinmatrix, während beim Kiesbeton die Ausdehnungskoeffizienten der Zuschläge und der Zementsteinmatrix enger übereinstimmen (in diesem Zusammenhang sei einmal von der Ausdehnung des Zementsteins bei Temperaturerniedrigung abgesehen, die in einem engen Temperaturbereich infolge Gefrierens des Porenwassers auftritt). Durch die Stahlfaserbewehrung können die Festigkeitsverluste, die bei den unbewehrten Betonen infolge der Gefügeflockungen auftreten, teilweise wieder aufgefangen werden.

Der unbewehrte Mörtel zeigt wie die unbewehrten Splittbetone eine sehr starke Abnahme der Biegezugfestigkeit. Er verliert infolge der Tieftemperaturbeanspruchung fast 60 % seiner ursprünglichen Biegezugfestigkeit. Durch die Stahlfaserzugabe läßt sich sein Thermoschockverhalten jedoch deutlich verbessern. Bereits 3 Gew.-% Wirexfasern reichen aus, um den Festigkeitsverlust auf 20 % zu begrenzen. Bei der Verwendung von Harexfasern ist jedoch eine höhere Konzentration erforderlich.

Beim Kiesbeton wirkt sich die Zugabe der gefrästen Fasern ebenfalls positiv aus. Die Festigkeit der tieftemperaturbeanspruchten Proben ist im Mittel nur um 17 % niedriger als die Festigkeit der Referenzproben.

Die unbewehrten Proben versagen nach der Tieftemperaturbeanspruchung wie bei Raumtemperatur bzw. bei hohen Temperaturen ebenfalls bei Höchstlast, während die stahlfaserbewehrten Proben im allgemeinen auch nach Überschreiten der

Höchstlast noch nennenswerte Kräfte (F_{ger}) aufnehmen. Sie sind in der nachfolgenden Tabelle 9 zusammengestellt.

Tabelle 9: Von den Prismen nach Überschreiten der Höchstlast im gerissenen Zustand noch aufnehmbare Kräfte F_{ger} (Durchbiegung 1 mm)

Betonserie	F_{ger}		
	therm. unbeanspruch [kN]	tieftemperaturbeansprucht [kN]	[%]
Qm	3,60	3,00	83,3
Qm1	4,82	4,10	85,1
Qm1	0,44	0,00 ^{*)}	-
Qm2	2,28	1,18	51,8
Qm0,55	4,25	2,49	58,6
Qm0,65	3,82	2,49	65,2
Dm	2,63	2,28	86,7
Km	3,68	3,02	82,1
Mm	3,55	3,15	88,7
MH6	-	0,00 ^{**)}	-
MH12	3,25	2,89	88,9
QH3	-	0,00 ^{***)}	-
QH6	-	2,49	-

*) Versagt nach einer Durchbiegung von 0,15 mm

**) Versagt nach einer Durchbiegung von 0,4 mm

***) Versagt nach einer Durchbiegung von 0,25 mm

Der Tabelle 9 ist zu entnehmen, daß infolge der Tieftemperaturbeanspruchung auch eine deutliche Reduzierung dieser Komponente auftritt. Daraus kann gefolgert werden, daß auch der Verbund zwischen Stahlfasern und Matrix durch die thermische Beanspruchung gelockert wird. Lediglich bei den geätzten Fasern (vgl. Serien MH6 und QH3) bleibt F_{ger} bzw. der Verbund auch nach Tieftemperaturbeanspruchung noch auf einem vergleichsweise hohen Niveau. Hier übersteigen die Verbundkräfte die Zugfestigkeit der Fasern, und die Proben

versagen nach geringeren Durchbiegungen als die Proben mit Stahlfasern, die aus gezogenen Drähten hergestellt wurden. Lediglich bei dem Mörtel mit sehr hohem Gehalt an gefrästen Fasern (MH12) werden Durchbiegungen von 1 mm ohne Bruch der Proben erreicht.

Bei den Betonen mit Stahlfasern erfährt F_{ger} infolge der Tieftemperaturbeanspruchung im Mittel eine Reduzierung um 25 %. Diese Reduzierung ist vergleichbar mit der Reduzierung von F_{ger} durch die Temperaturbeanspruchung bei 150 °C (vgl. Tabelle 7). Die Biegezugfestigkeiten werden im Vergleich dazu durch die thermische Beanspruchung bei 150 °C deutlich stärker reduziert als durch die Tieftemperaturbeanspruchung. So beträgt beispielsweise die Reduzierung der Biegezugfestigkeiten bei den Kiesbetonmischungen bei 150 °C 44 % und nach der Tieftemperaturbeanspruchung nur ca. 30 %.

Die bei den tieftemperaturgeschädigten Betonen im Verlaufe der Biegebeanspruchung entstehenden Bruchflächen ähneln den Bruchflächen der thermisch unbeanspruchten Proben (vgl. Bild 39 und 46); jedoch war zu erkennen, daß deutlich weniger Zuschläge nach der Tieftemperaturbeanspruchung reißen. Die makroskopische Trennbruchfläche verläuft sehr viel häufiger auch in der Kontaktzone zwischen den Zuschlägen und der Zementsteinmatrix. Andererseits ist nach der Tieftemperaturbeanspruchung kein so starkes Auswandern der Bruchfläche in die Kontaktzonen zu beobachten gewesen wie bei den bei 150 °C untersuchten Proben, die ja in der Bruchfläche kaum noch gerissene Zuschläge aufwiesen (vgl. Bilder 40 und 47).

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß durch schockartige Tieftemperaturbeanspruchung der wassersatten Proben starke Abminderungen der Biegezugfestigkeiten hervorgerufen werden, als deren Ursachen die Mikrorißbildung in der Zementsteinmatrix sowie vermehrt in der Kontaktzone zwischen Zuschlag und Zementstein angesehen werden kann. Es wird aber auch der Verbund zwischen Stahlfasern und Feinmörtelmatrix aufgelockert. Dies wird durch die Abminderung von F_{ger} bei den tieftemperaturbeanspruchten Proben belegt. Diese Abminderung von F_{ger} liegt in der gleichen Größenordnung wie bei den bei 150 °C untersuchten Proben. Die Reduktion der Biegezugfestigkeit fällt bei den mit 150 °C beanspruchten Proben jedoch im allgemeinen deutlich höher aus als bei den tieftemperaturbeanspruchten Proben.

3.4 Strukturuntersuchungen

Die Strukturuntersuchungen mittels Quecksilberporosimetrie wurden an unbewehrtem und an stahlfaserbewehrtem Kiesbeton durchgeführt. In die Untersuchungen wurden dabei sowohl hochtemperatur- als auch tieftemperaturbeanspruchte Proben einbezogen. Die Ergebnisse sind als differentielle Porenradienverteilungen in den Bildern 57, 58, 59 und 60 dargestellt.

Bild 57 enthält die Porenradienverteilung der unbewehrten Kiesbetonmischung. Bei ihr wurden die Porenradienverteilungen nur nach Aufheizung auf 150 °C, 450 °C, 760 °C und 870 °C sowie von dem thermisch unbelasteten Beton (20 °C) ermittelt, weil über einen Beton ganz ähnlicher Zusammensetzung schon Untersuchungen vorlagen (vgl. /20, 21/) und bereits nach der Durchführung der ersten orientierenden Messungen eine enge Übereinstimmung der hier erzielten Versuchsergebnisse mit den Ergebnissen aus /20/ ersichtlich war.

Der Stahlfaserbeton wurde intensiver untersucht. Es wurden folgende Temperaturstufen einbezogen: 20 °C, 150 °C, 250 °C, 350 °C, 450 °C, 550 °C, 660 °C, 760 °C und 870 °C, um das gesamte Spektrum der thermisch bedingten Veränderungen zu erfassen (s. Bilder 58 und 59).

Den Bildern kann entnommen werden, daß sowohl der unbewehrte Beton als auch der Stahlfaserbeton in den differentiellen Porenradienverteilungen im allgemeinen mehrere Maxima aufweisen. Es liegen im Beton verschiedene, einander durchdringende Porensysteme vor. Unter Berücksichtigung der Porosimetrieuntersuchungen an reinem Zementstein und an Zuschlägen kann man das erste Porensystem, das bei den kleineren Radien sein Maximum hat, der Porosität der Zementsteinmatrix und das System der größeren Poren der Porosität der Kontaktzone zwischen Zuschlag und Zementstein sowie Haft-, Matrix- und Verbundrissen zuordnen. Die beiden Porensysteme sind in den Bildern unterschiedlich gekennzeichnet, dabei stellt der dunklere Bereich jeweils das Porensystem der Zementsteinmatrix dar.

Bei den thermisch unbeanspruchten 20 °C-Proben liegt das Maximum der Zementsteinporosität bei etwa 11 nm. Es wird bereits durch die relativ geringe thermische Beanspruchung bei 150 °C deutlich zu größeren Radien verschoben. Der Zementsteinpeak befindet sich jetzt bei etwa 36 nm. Gleichzeitig mit der Ver-

schiebung der Peaklage hat sich das Zementsteinporenvolumen vergrößert (vgl. Flächen unter den entsprechenden Kurven). Die Ursachen für das beobachtete Verhalten lassen sich wie folgt erklären:

In dem Temperaturbereich 20 °C bis 150 °C laufen die volumenmäßig stärksten Entwässerungsreaktionen des anfänglich noch sehr feuchten Zementsteins ab. Wird der feuchte Zementstein bei 20 °C durch Anlegen eines Vakuums getrocknet, wird neben dem physikalisch gebundenen Kapillarwasser zunehmend Zwischenschichtwasser des Zementgels freigesetzt. Dadurch verringert sich zunächst der Spaltdruck des Wassers zwischen den Gelteilchen. Später, sobald die Gelteilchen frei von Wasser werden, nimmt ihre Oberflächenspannung stark zu. Beide Effekte führen zu einem Komprimieren des Gelgerüsts, wodurch sich zwar makroskopisch meßbare Schwindverkürzungen des Zementsteins ergeben; die Kapillarporenstruktur wird jedoch nur geringfügig verändert.

Wenn der Zementstein bei höheren Temperaturen austrocknet, treten zusätzliche Effekte auf. So wird bereits bei Temperaturen von 50 °C überproportional viel Wasser aus dem Zementstein entfernt. Das bedeutet, daß nicht nur das adsorptiv gebundene Wasser freigesetzt wird, wie es beispielsweise durch die Temperaturabhängigkeit der Kelvin-Gleichung beschrieben wird. Es zerfallen bereits unter 100 °C schwachgebundene Hydratphasen, und es treten Umstrukturierungen der CSH-Phasen auf.

Die Wasserfreisetzungsraten haben ihr Maximum im Temperaturbereich zwischen 125 °C und 140 °C (vgl. /20/). Setzt man die Proben für längere Zeit einer Temperatur von 150 °C aus, so kommen die Entwässerungsreaktionen rasch zum Stillstand. Erst nach einer weiteren Temperaturerhöhung wird wiederum Wasser freigesetzt. Die dabei entweichenden Mengen sind jedoch im Vergleich zu der Menge, die bis 150 °C ausdampft, relativ gering. Daher ergeben sich - wie den Bildern 57 und 58 zu entnehmen ist - auch im Temperaturbereich 20 °C bis 150 °C die stärksten Veränderungen in der Porenradienverteilung der Zementsteinmatrix.

Nach Erhöhen der maximalen Aufheiztemperatur bis auf ca. 450 °C verändern sich Porenvolumen und häufigster Kapillarporenradius nur noch wenig. Der Zementstein besitzt also im Temperaturbereich von 150 °C bis 450 °C eine recht stabile Struktur. Erst oberhalb 450 °C tritt eine weitere Strukturveränderung auf. Es entsteht im Porenradienbereich um 10 nm neuer Porenraum, der in der 450 °C-Kurve durch die kreuzweise schraffierte Fläche kenntlich gemacht ist

(vgl. Bilder 57 und 58). Die Entstehung dieser Porosität kann der Zersetzung des Portlandits zugeordnet werden. Bis zu Temperaturen von 550 °C setzt sich die Dehydratationsreaktion noch weiter fort, wodurch eine weitere Vergrößerung des entsprechenden Porenvolumens verursacht wird. Danach ist die Zersetzung des Portlandits im wesentlichen abgeschlossen. Die 550 °C- und 650 °C-Kurven unterscheiden sich daher nur wenig.

Bei Beanspruchungstemperaturen über 650 °C beginnt der Zerfall stabiler CSH-Phasen. Dementsprechend zeigt das Hauptmaximum der Porenradienverteilung ein kontinuierlich mit der Temperatur anwachsendes Porenvolumen und ab ca. 460 °C auch eine deutliche Verschiebung des häufigsten Porenradius zu größeren Radien hin.

Die Porenstruktur, die die Kontaktzone sowie Haft- und Matrixrisse repräsentiert, verändert sich - im Gegensatz zu der Porosität der Zementsteinmatrix - kontinuierlich mit der Belastungstemperatur. Porenvolumen und häufigster Porenradius (= entsprechendes Maximum der Porenradienverteilung) vergrößern sich sowohl beim unbewehrten als auch beim stahlfaserbewehrten Beton stetig (vgl. Bilder 57, 58 und 59). Die Vergrößerung dieser Porenstruktur bei ansteigender Temperatur wird ausschließlich durch Risse verursacht, die durch die Inkompatibilität der Komponenten Zementstein und Zuschlag entstehen.

Vergleicht man die Porenverteilungen der unbewehrten Betonproben (siehe auch /21/), so sind weder qualitative noch quantitative Unterschiede, die über das Maß der erwarteten versuchsbedingten Ergebnisstreuungen hinausgehen, festzustellen. Daraus ist zu folgern, daß die Stahlfasern keinen nennenswerten Einfluß auf die thermisch verursachte Mikrorißbildung ausüben.

Die Tieftemperaturbeanspruchung verursacht, wie aus Bild 60 hervorgeht, sowohl eine Veränderung in der Zementsteinstruktur als auch eine Veränderung der Grobporen- bzw. Rißstruktur. Obwohl sich das Gesamtporenvolumen der tieftemperaturbeanspruchten Proben nicht von dem Grobporenvolumen der Referenzproben unterscheidet, ist eine deutliche Verschiebung des im Grobporenbereich liegenden Maximums von etwa 0,3 µm (unbeanspruchte Proben) auf etwa 1,3 µm (tieftemperaturgeschädigte Proben) festzustellen. Gleichzeitig vergrößert sich die Zementsteinstruktur, und das entsprechende Maximum verschiebt sich von 11 nm nach 22 nm.

Als Hauptursache für die Strukturschädigung von wassergesättigtem Beton bei Tieftemperaturbeanspruchung ist nach /17/ das Transportverhalten von Wasser und die unterschiedliche thermische Ausdehnung von Eis und der Zementsteinmatrix anzusehen. Im Verlaufe der Abkühlung bildet sich zunächst (etwas unterhalb von 0 °C) in den groben Poren Eis, das von einer Hülle aus flüssigem Wasser umgeben ist. Dieses Wasser wird bei weiterer Abkühlung zunächst infolge der starken Expansion des Eises in feinere Poren gepreßt. Unterhalb von - 20 °C gefriert auch das Wasser in den feineren Poren. Es kann kein Feuchtigkeits-transport mehr stattfinden, und infolge des Eiskristallisationsdruckes bzw. der starken Expansion des Eises kommt es zur Mikrorißbildung. Sie wird bei Beginn des Auftauvorganges aufgrund der im Vergleich zur Zementsteinmatrix größeren Ausdehnung des Eises noch verstärkt.

Infolge der Eisbildung dehnt sich der Zementstein während der Abkühlung beim Durchlaufen des Temperaturbereichs - 20 °C bis - 60 °C aus und erreicht dabei eine makroskopisch meßbare Zunahme seiner Ausgangslänge von 1,6 ‰ (s. /17/), während die Zuschläge ausschließlich kontrahieren. Die dabei entstehenden Spannungen führen insbesondere in der Kontaktzone zwischen Zuschlag und Zementsteinmatrix - aber auch in der Matrix selbst - zu den beobachteten Rißbildungen.

Vergleicht man nun die Riß- und Porenstrukturen des tieftemperaturbeanspruchten, unbewehrten Betons mit denen des tieftemperaturbeanspruchten Stahlfaserbetons, so kann man feststellen, daß sich die unterschiedlichen Betone hinsichtlich der Rißstrukturen kaum voneinander unterscheiden. Das bedeutet, daß die Stahlfasern - wie im Hochtemperaturbereich - auch bei tiefen Temperaturen die Rißbildung kaum beeinflussen.

Stellt man die tieftemperaturbedingten Schädigungen den Schädigungen gegenüber, die aus der Temperaturbeanspruchung bei 150 °C resultieren (s. Bilder 57 und 58), so stellt man fest, daß die Veränderungen der Zementsteinstruktur durch die tiefen Temperaturen deutlich geringer ausfallen als bei der Beanspruchung mit 150 °C, während das neu entstehende Rißspektrum nach beiden Beanspruchungsarten in etwa vergleichbar ist. Sowohl das neu entstandene Rißvolumen als auch die Lage der Maxima, die ja die häufigsten Rißweiten repräsentieren, stimmen überein.

5. Zusammenfassung

Der Werkstoff stahlfaserverstärkter Beton ist in baupraktischer Hinsicht so weit entwickelt, daß er in vielen Bauwerken und Bauteilen erfolgreich angewendet wird, insbesondere dort, wo hohe mechanische Belastungen (Erschütterung, Stoß usw.) auftreten. Die Anwendung von stahlfaserverstärktem Beton bietet jedoch auch erhebliche Vorteile bei Bauteilen oder Bauwerken, die erheblichen thermischen Belastungen, entweder dauernd im Betrieb oder in Katastrophenfällen, ausgesetzt sind (Bauwerke der Energietechnik, Schutzräume, Bauteile im Schadensfeuer). Während das Verhalten von stahlfaserverstärktem Beton bei Umgebungstemperatur seit fast 20 Jahren Gegenstand intensiver Erforschung ist, lagen über das Verhalten bei hoher thermischer Belastung so gut wie keine Erkenntnisse vor.

Ziel des vorliegenden Forschungsvorhabens war es daher, das mechanische Verhalten und hier - wegen der Bedeutung für die Duktilität und Rißentwicklung - insbesondere das Verhalten der Biegezugfestigkeit unter extremen thermischen Belastungen zu studieren. Dabei wurde vor allem der Hochtemperaturbereich bis zu Temperaturen von 800 °C experimentell erforscht. Tieftemperaturuntersuchungen wurden mit eingeplant, weil aus den Ergebnissen solcher Untersuchungen ein vertieftes Verstehen der Wirkungen von Stahlfaserarmierungen in strukturgeschädigtem Beton erwartet wurde.

Das Versuchsprogramm und die Durchführung der Versuche wurden nach der Zusammenstellung und Auswertung der bisher vorliegenden Ergebnisse endgültig festgelegt. Untersucht wurde die Biegezugfestigkeit an prismatischen Proben (7,2 cm x 6,4 cm x 28 cm) aus Beton und aus Mörtel. Als Hauptparameter wurden bei den Versuchen die Betonzusammensetzung, der Faserzusatz und die Belastungstemperatur variiert. Insgesamt wurden 21 Probemischungen hergestellt und untersucht:

- Kiesbeton, Diabassplittbeton, Kalksteinsplittbeton, jeweils mit 340 kg/m³ PZ 35 F, 60 kg/m³ silica fume und 3 Gew.-% Wirex-Fasern (0,4/25 mm);
- Kiesbeton, Diabassplittbeton, Kalksteinsplittbeton, jeweils mit 340 kg/m³ PZ 35 F und 3 Gew.-% Wirex-Fasern (0,4/25 mm), außerdem jeweils eine Vergleichsmischung ohne Fasern;

- Kiesbeton mit 340 kg/m^3 PZ 35 F, bei denen der Fasergehalt und die Faserart variiert wurden: 1, 2 und 3 Gew.-% Wirex-Fasern (0,4/25 mm), 3 Gew.-% lange Wirex-Fasern (0,4/40 mm), 3 Gew.-% Hakenfasern (Dramix ZC 30/.50), 3 und 6 Gew.-% gefräste Fasern (Harex SF 01-32/130);
- Kiesbetone mit 340 kg/m^3 PZ 35 F und 3 Gew.-% Wirex-Fasern (0,4/25 mm), aber unterschiedlichem W/Z-Wert (0,485, 0,55 und 0,65);
- Mörtel mit 500 kg/m^3 PZ 35 F, W/Z = 0,5 ohne Fasern, mit 3 Gew.-% Wirex-Fasern (0,4/25 mm) sowie 6 und 12 Gew.-% gefräste Fasern (Horex SF 01-32/130).

Nach der Herstellung wurden die Proben bis kurz vor Versuchsbeginn unter Wasser gelagert. Die Biegezuguntersuchungen erfolgten im durchbiegungsgesteuerten Versuch unter Dreipunktbelastung in einer speziellen Prüfmaschine. Zur Ermittlung des Biegezugverhaltens bei hohen Temperaturen wurden die Proben in die Prüfanlage eingebaut und mit 2 K/min auf die gewünschte Prüftemperatur (150 °C, 300 °C, 450 °C, 600 °C und 800 °C) erwärmt und zwei Stunden bei der Versuchstemperatur gehalten, bevor die durchbiegungsgeregelte mechanische Belastung aufgebracht wurde (Durchbiebungsgeschwindigkeit ca. 0,2 mm/min). Außerdem wurden für jede Serie Referenzversuche bei 20 °C sowie Güteprüfungen an Würfeln im Alter von 28 Tagen und bei Versuchsbeginn durchgeführt.

Die Tieftemperaturuntersuchungen wurden auf schockartig auf die Temperatur des flüssigen Stickstoffs abgekühlte Proben, die dann im wiederaufgetauten Zustand geprüft wurden, beschränkt. Gemessen und registriert wurden bei allen Versuchen jeweils die Prüfkraft und die daraus resultierende Durchbiegung.

Neben den mechanischen Untersuchungen erfolgte eine visuelle Prüfung der entstehenden Bruchflächen und Untersuchungen der Strukturveränderungen mittels Quecksilberporosimetrie. Letztere mußten jedoch auf den Kiesbeton begrenzt bleiben.

Die erzielten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Bei Raumtemperatur zeigen die Stahlfaserbetone unter ansteigender Belastung bis zum Anriß der Zugrandfaser nahezu die gleichen Kurvenverläufe (Kraft-Durchbiegungs-Beziehungen) wie die Referenzbetone ohne Fasern. Daraus folgt, daß die zugegebenen Stahlfasern auch andere Stoffeigenschaften wie Bruchdehnung der Zugrandfasern und E-Modul nur wenig beeinflussen. Werden den Proben jedoch größere Dehnungszustände aufgezwungen, kollabieren die unbewehrten

Betone aufgrund unzureichender Maschinensteifigkeit sofort. Bei den Stahlfaserbetonen sinkt die Kraft nach dem Anriß der Zugrandfaser auf ein bestimmtes Niveau (F_{ger}), das sich im allgemeinen mit zunehmender Durchbiegung nur noch sehr geringfügig verändert. Das Niveau von F_{ger} wird entscheidend von der Faserart und dem Fasergehalt bestimmt; F_{ger} hängt aber nur wenig vom mineralogischen Aufbau und Größtkorn der Zuschläge sowie vom Bindemittelgehalt ab. Diese Faktoren beeinflussen in sehr viel stärkerem Maße die aufnehmbare Höchstlast, d.h. die Biegezugfestigkeit. Die Biegezugfestigkeit wird aber auch ganz entscheidend von der erreichten Verdichtung des Frischbetons bestimmt.

- Bei der Einwirkung hoher Temperaturen wird das Biegezugverhalten von Mörtel und Beton einschneidend verändert. Bei nahezu allen untersuchten Mischungen reagieren die Proben bei hohen Temperaturen biegeweicher als bei Raumtemperatur. Bei den unbewehrten Proben tritt das Versagen wie bei Raumtemperatur nach Durchbiegungen von ca. 0,2 mm auf. Die Proben der stahlfaserverstärkten Beton- und Mörtelserien können wie bei Raumtemperatur auch nach Überschreiten der Höchstlast noch erhebliche Kräfte (F_{ger}) aufnehmen. Diese Kräfte nehmen bis zu Temperaturen von 600 °C im allgemeinen mit zunehmender Durchbiegung nur relativ langsam ab. Die Biegezugfestigkeit sowie F_{ger} erfahren bereits bei einer Beanspruchung mit 150 °C einen drastischen Abfall. Die Biegezugfestigkeit erniedrigt sich auf ca. 40 bis 50 % der Ausgangsfestigkeit, und F_{ger} nimmt auf ca. 70 % ab. Nach Überschreiten von 150 °C setzt bei fast allen Mischungen zunächst eine Festigkeitserhöhung ein. Oberhalb von 450 °C nimmt die Biegezugfestigkeit jedoch wieder ab. Bei 600 °C weisen die quarzhaltigen Mischungen nahezu unabhängig von den sonstigen betontechnologischen Parametern (Fasergehalt, W/Z-Wert usw.) fast einheitlich eine Biegezugfestigkeit von 2 N/mm² auf. Lediglich die Mischungen mit gebrochenen Zuschlägen und die Mörtel mit hohem Gehalt an gefrästen Fasern zeigen höhere Werte (3 N/mm²).

Auch bei 800 °C sind noch deutlich meßbare Biegezugfestigkeiten festzustellen. Hier ergeben sich ebenfalls einheitliche Werte, die von den sonstigen betontechnologischen Parametern nahezu unabhängig sind. Sie liegen um 1 N/mm².

Die bei der mechanischen Belastung entstehenden Bruchflächen zeigen bereits bei einer Temperaturbeanspruchung von 150 °C deutliche Veränderungen gegenüber dem Aussehen bei Raumtemperatur. Während die Bruchfläche der thermisch

unbeanspruchten Proben sowohl durch die Zuschläge als auch durch die Matrix verläuft, ist ab 150 °C ein Auswandern der Bruchfläche in den Kontaktzonenbereich zwischen den Zuschlägen und der Zementsteinmatrix zu beobachten. Gleichzeitig wird die Bruchfläche mit netzartig verlaufenden Rissen durchzogen, die sich mit zunehmenden Temperaturen verbreitern. Die Stahlfasern aus gezogenem Draht (Wirex- und Dramix-Fasern) werden bis zu Temperaturen von 450 °C im Verlaufe der mechanischen Beanspruchung aus der Beton- bzw. Mörtelmatrix gezogen und ragen aus der Bruchfläche heraus. Ab 600 °C wird der Anteil der aus der Bruchfläche herausstehenden Fasern geringer; d.h. ab 600 °C beginnen die Verbundkräfte die Zugfestigkeit der Fasern zu übersteigen. Bei 800 °C ragen kaum noch Fasern aus der Bruchfläche heraus, weil die Zugfestigkeiten bereits erheblich unter den noch vorhandenen Verbundkräften liegen.

Die gefrästen Harexfasern nehmen eine Sonderstellung ein, denn die Verbundkräfte überwiegen schon bei Raumtemperatur die Zugfestigkeit der Fasern. Aus den Bruchflächen ragen daher auch bei erhöhten Temperaturen kaum Fasern heraus.

- Durch die schockartige Abkühlung der wassergesättigten Proben auf tiefe Temperaturen und durch das anschließende Wiederauftauen wird das Biegezugverhalten ebenfalls nachhaltig verändert. Die Proben zeigen ein ähnliches Verhalten wie bei der Beanspruchung unter 150 °C. Unbewehrte Betone und Mörtel verlieren zwischen 30 und 60 % ihrer 20 °C-Biegezugfestigkeit. Durch die Stahlfaserarmierung können die Festigkeitsverluste jedoch teilweise wieder aufgefangen werden. Die unbewehrten Proben versagen - wie bei Raumtemperatur - schlagartig nach Überschreiten der Höchstlast. Die mit Stahlfasern aus gezogenen Drähten bewehrten Proben können im gerissenen Zustand nach Überschreiten der Höchstlast noch erhebliche Kräfte aufnehmen. Diese Kräfte liegen im allgemeinen deutlich unter den entsprechenden Kräften bei Raumtemperatur. Sie übersteigen jedoch die entsprechenden Kräfte, die bei der Beanspruchung mit 150 °C gemessen wurden.

Das Aussehen der bei der mechanischen Belastung entstehenden Bruchflächen weicht etwas von dem Aussehen der Bruchflächen ab, die bei thermisch unbelasteten Proben entstehen. Während bei den Raumtemperaturproben sowohl die Zuschläge als auch die Matrix gerissen sind, ist die makroskopische Bruchfläche der tieftemperaturbeanspruchten Proben bereits etwas stärker in die Kontaktzone zwischen Zuschlag und Zementstein verlagert, und es sind deutlich

weniger Zuschläge gerissen als bei Raumtemperatur. Die Stahlfasern aus gezogenen Drähten werden bei der entsprechenden Belastung aus der Matrix herausgezogen; die gefrästen Fasern reißen wie bei Raumtemperatur infolge ihres guten Verbundes.

- Aus den Strukturuntersuchungen kann abgeleitet werden, daß die durch Temperatureinwirkung hervorgerufene Abminderung der Biegezugfestigkeit ihre Ursache in der thermisch bedingten Umstrukturierung des Zementsteins und der Mikrorißbildung - insbesondere in der Kontaktzone zwischen Feinmörtelmatrix und den Grobzuschlägen - hat. Der Umfang der Strukturschädigungen korreliert dabei mit den Reduzierungen der Biegezugfestigkeit. Ungeklärt bleibt jedoch noch der überproportional starke Abfall der Biegezugfestigkeit, der bei der Temperaturebeanspruchung mit 150 °C auftritt. Ebenso ist noch der Wiederanstieg der Biegezugfestigkeit im Temperaturbereich 150 °C bis 300 °C weitgehend ungeklärt. Durch zukünftige Forschungsarbeiten sollten diese Punkte einer Klärung nähergeführt werden.

5. Schrifttum

- /1/ Hillemeier, B.: Bruchmechanische Untersuchungen des Rißfortschritts in zementgebundenen Werkstoffen, Diss. Karlsruhe 1976.
- /2/ Wischers, G.: Faserbewehrter Beton, Beton 3/74.
- /3/ Dahms, J.: Herstellung und Eigenschaften von Faserbeton, Beton 4/79.
- /4/ Swamy, R.N.: Fibre Reinforcement of Cement and Concrete. Vol. 8 - No 45 - MATERIAUX ET CONSTRUCTIONS.
- /5/ ACI Committee 544. State-of-the-Art-Report on Fibre Reinforced Concrete. ACI PUBLICATION SP-44, 1974.
- /6/ Borttscheller, M. et al.: Verstärkung eines Tunnels - erstmalig mit Stahlfaserspritzbeton, Beton 4/80.
- /7/ Maidl, B.: Anwendung von Stahlfaserspritzbeton im Tunnelbau - derzeitiger Stand der Verfahrenstechnik und konstruktive Bewertung.
- /8/ Rostásy, F.S., und Wiedemann, G.: Festigkeit und Verformung von Beton bei sehr tiefer Temperatur, Beton 30/80.
- /9/ Diederichs, U.; Schneider, U.: Pilotstudie zum Spannungs-Dehnungs- und Warmkriechverhalten von Stahlfaserbeton. Bericht aus dem Teilprojekt B 3 des Sonderforschungsbereichs 148 "Brandverhalten von Bauteilen" der Technischen Universität Braunschweig. Braunschweig, 1979 (unveröffentlicht; auszugsweise Veröffentlichung in /10/).
- /10/ Schneider, U.: Verhalten von Beton bei hohen Temperaturen. DAfStb, Heft 337, Verlag von W. Ernst & Sohn, Berlin - München, Berlin, 1982.
- /11/ Kordina, K. u.a.: Sonderforschungsbereich 148 "Brandverhalten von Bauteilen", Arbeitsberichte: 1975 - 1977, 1978 - 1980 und 1981 - 1983. Technische Universität Braunschweig, 1977, 1980 und 1983.
- /12/ Forschungsbericht "T 549: Forschungsvorhaben Faserbeton", Teil I und Teil II, Informationszentrum RAUM und Bau der Fraunhofer-Gesellschaft.
- /13/ Rostásy, F.S.: Rißverhalten von faserbewehrtem Beton mit zusätzlicher schlaffer Bewehrung. Bericht des Instituts für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig.
- /14/ Rostásy, F.S.; Hartwich, K.: Festigkeits- und Verformungsverhalten von stahlfaserbewehrtem Normalbeton unter hohen und schnellablaufenden Belastungen. Bericht des Instituts für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, Braunschweig, 1983.
- /15/ Schneider, U.; Diederichs, U.; Ehm, C.; Hinrichsmeyer, K.: Hochtemperaturverhalten von Festbeton, Sonderforschungsbereich 148 "Brandverhalten von Bauteilen", Arbeitsbericht für den Zeitraum 1981 - 1983, Technische Universität Braunschweig, Mai 1983.
- /16/ Eibl, J.; Iványi, G.: Studie zum Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbeton. Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, Heft 260. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin - München - Düsseldorf, Berlin 1976.

- /17/ Wiedemann, G.: Zum Einfluß tiefer Temperaturen auf Festigkeit und Verformung von Beton. Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1982.
- /18/ Kordina, K.; Lewandowski, R.: Einfluß des Zuschlaggesteins und der Kornzusammensetzung auf die Verformbarkeit von Straßenbeton unter Biegebeanspruchung. Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen, Heft 67, Kirschbaum-Verlag, Bad Godesberg, 1967.
- /19/ Mtschedlow-Petrossian, O.P.; Fatalijew, S.A.: Mineral- und Strukturbildung des Betons in Abhängigkeit von der Reaktionsfähigkeit der Zuschlagstoffe. Baustoffindustrie, B, 6 (Dezember), 1976.
- /20/ Diederichs, U.; Hinrichsmeyer, U.; Schneider, U.: Experimentelle Untersuchung von Transportvorgängen und Porenstrukturen in Beton im Bereich der Verdampfung des Porenwassers (Phasenübergang). Bericht über eine Untersuchung im Auftrage des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig. Braunschweig, August 1984.
- /21/ Hinrichsmeyer, K.: Strukturorientierte Analyse und Modellbeschreibung der thermischen Schädigung von Beton. Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 1987 (in Vorbereitung).

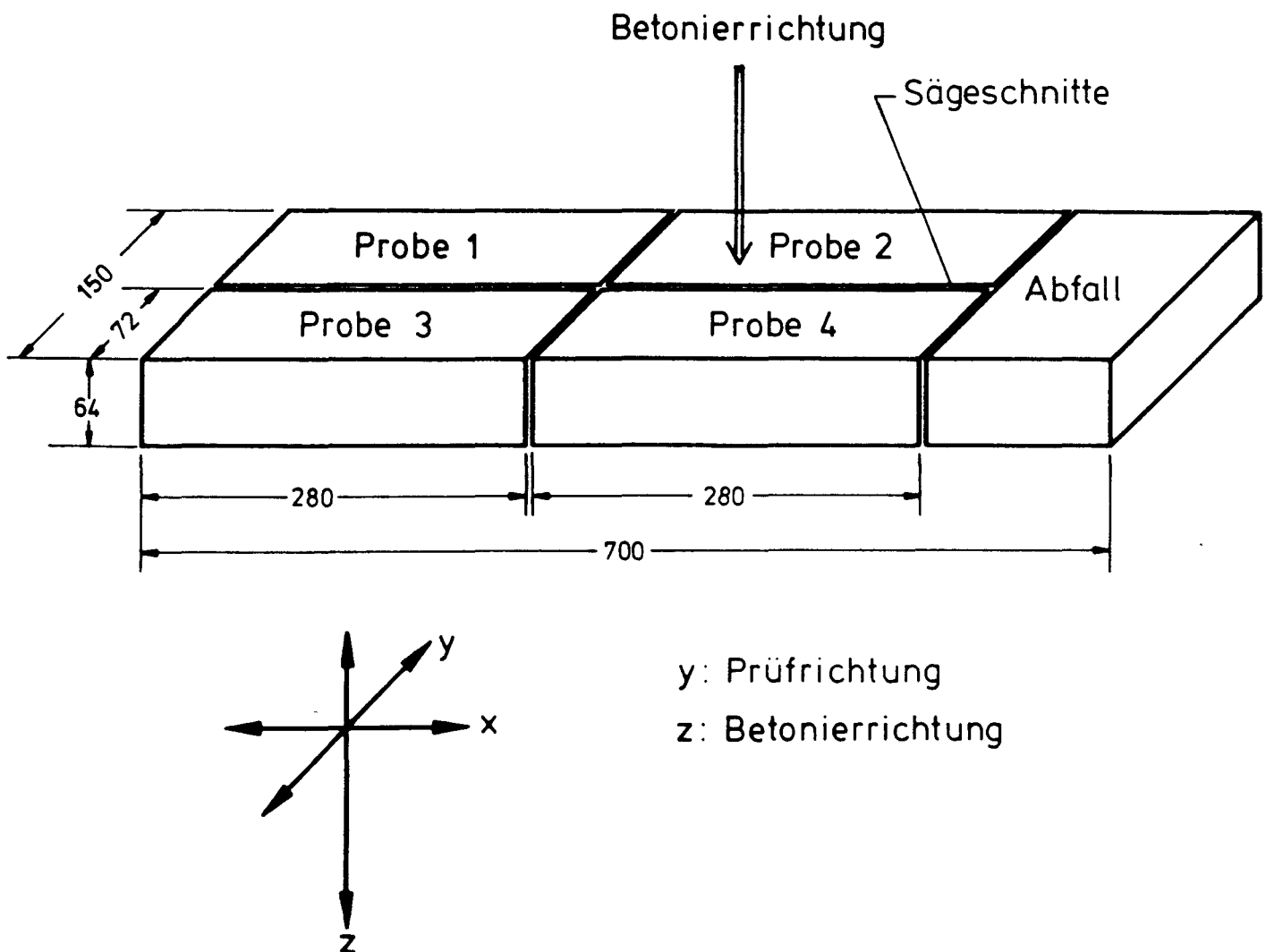


Bild 1: Zur Herstellung der Probekörper aus den betonierten Platten

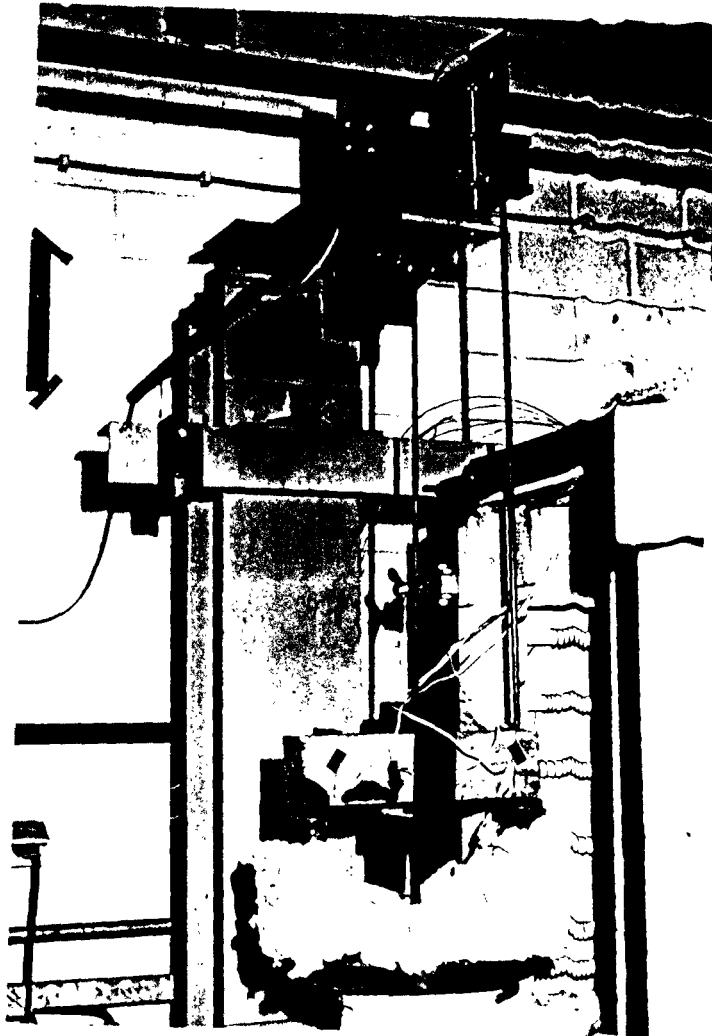


Bild 2: Versuchsstand mit zur Prüfung vorbereitetem Probekörper

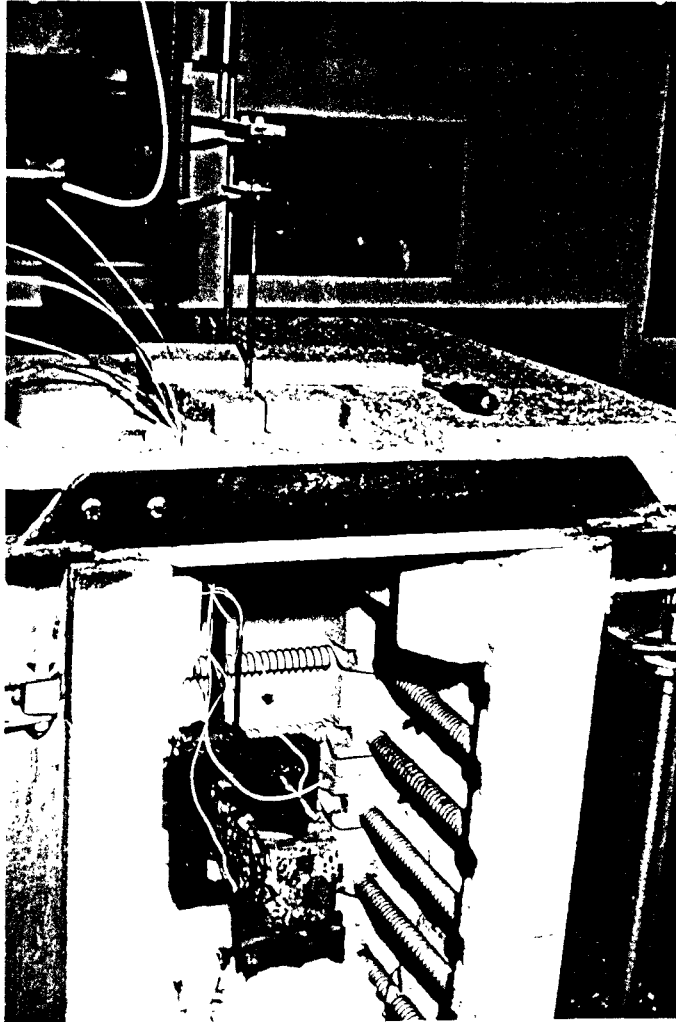


Bild 3: Kammerofen mit eingebautem Probekörper

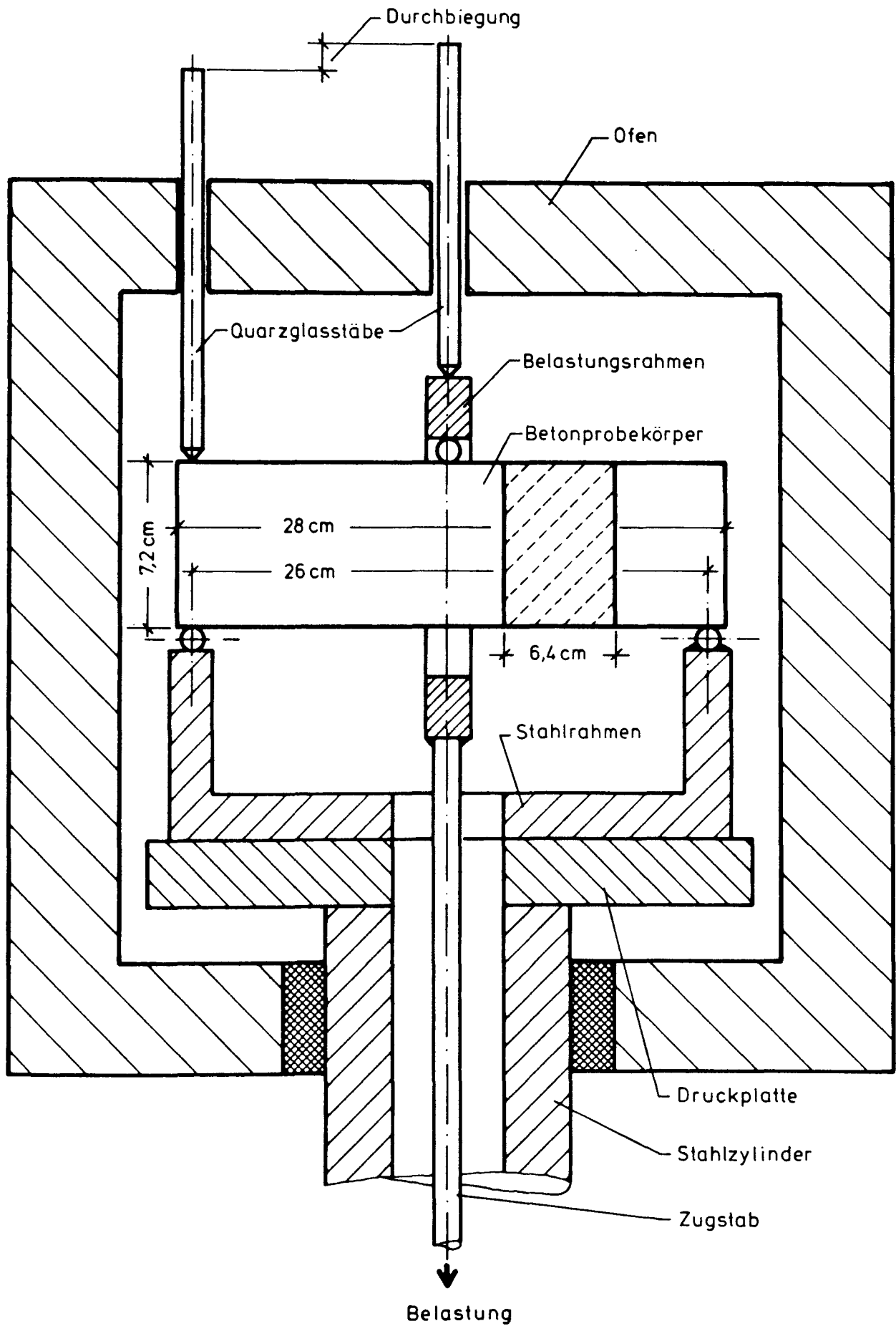


Bild 4: Schematische Darstellung der Versuchseinrichtung

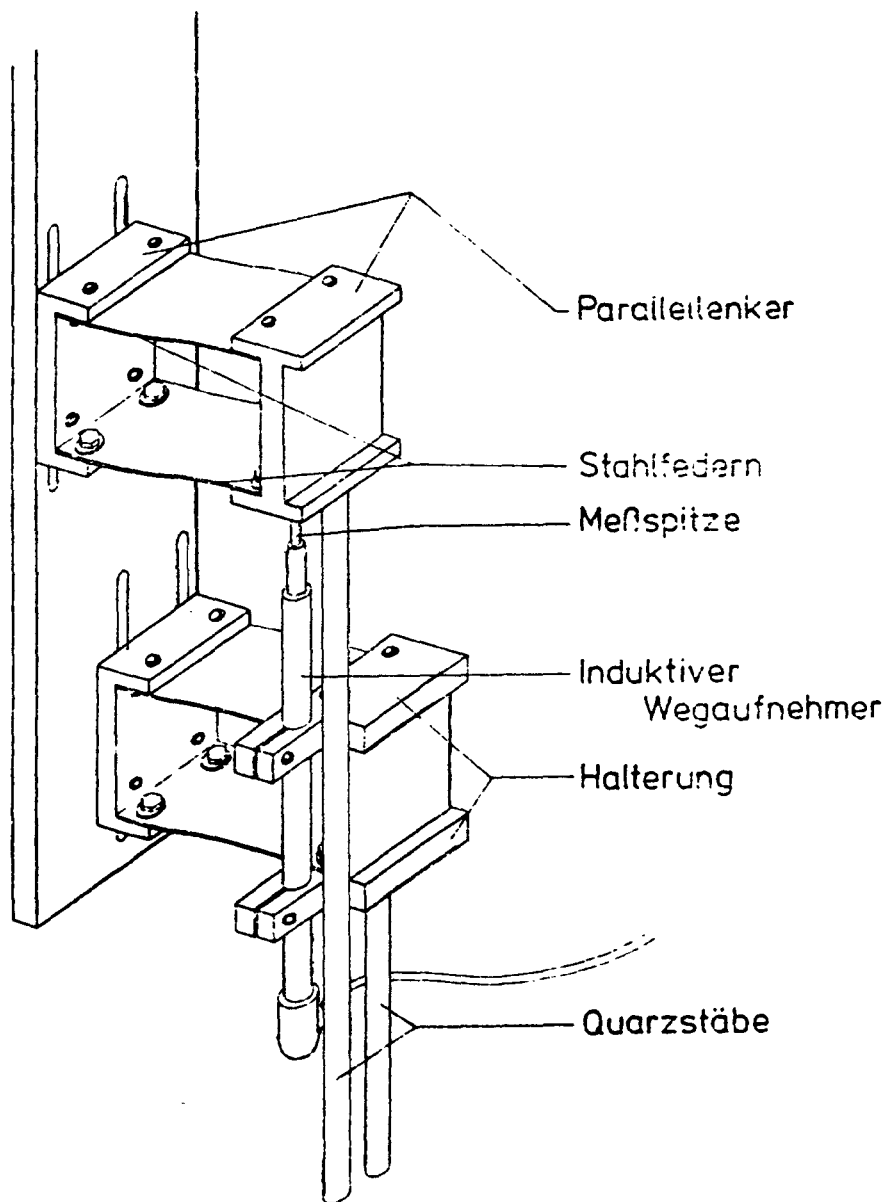


Bild 5: Meßsystem zur Bestimmung der Durchbiegung

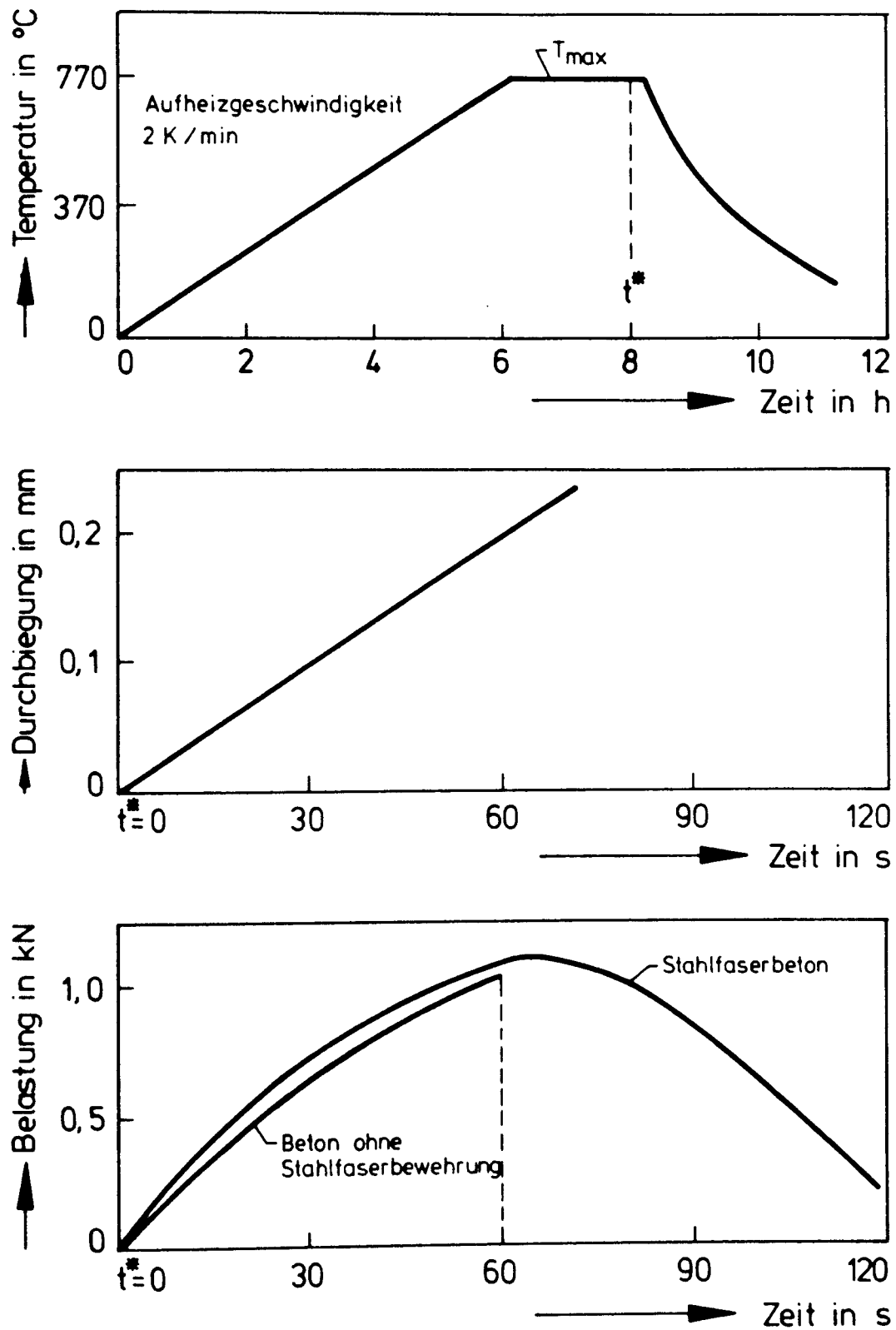


Bild 6: Schematische Darstellung der Versuchsdurchführung bei hohen Temperaturen



Bild 7: Dewargefäß mit 6 Biegezugproben vor dem Abkühlen mit flüssigem Stickstoff. Eine Probe ist mit einem Thermoelement zur Temperaturmessung in Probekörpermitte bestückt.



Bild 8: Abkühlen der Biegezugproben im Dewargefäß durch Besprühen mit flüssigem Stickstoff



Bild 9: Temperaturverlauf im Innern eines Biegezugprismas beim Abkühlen und Wiederauftauen

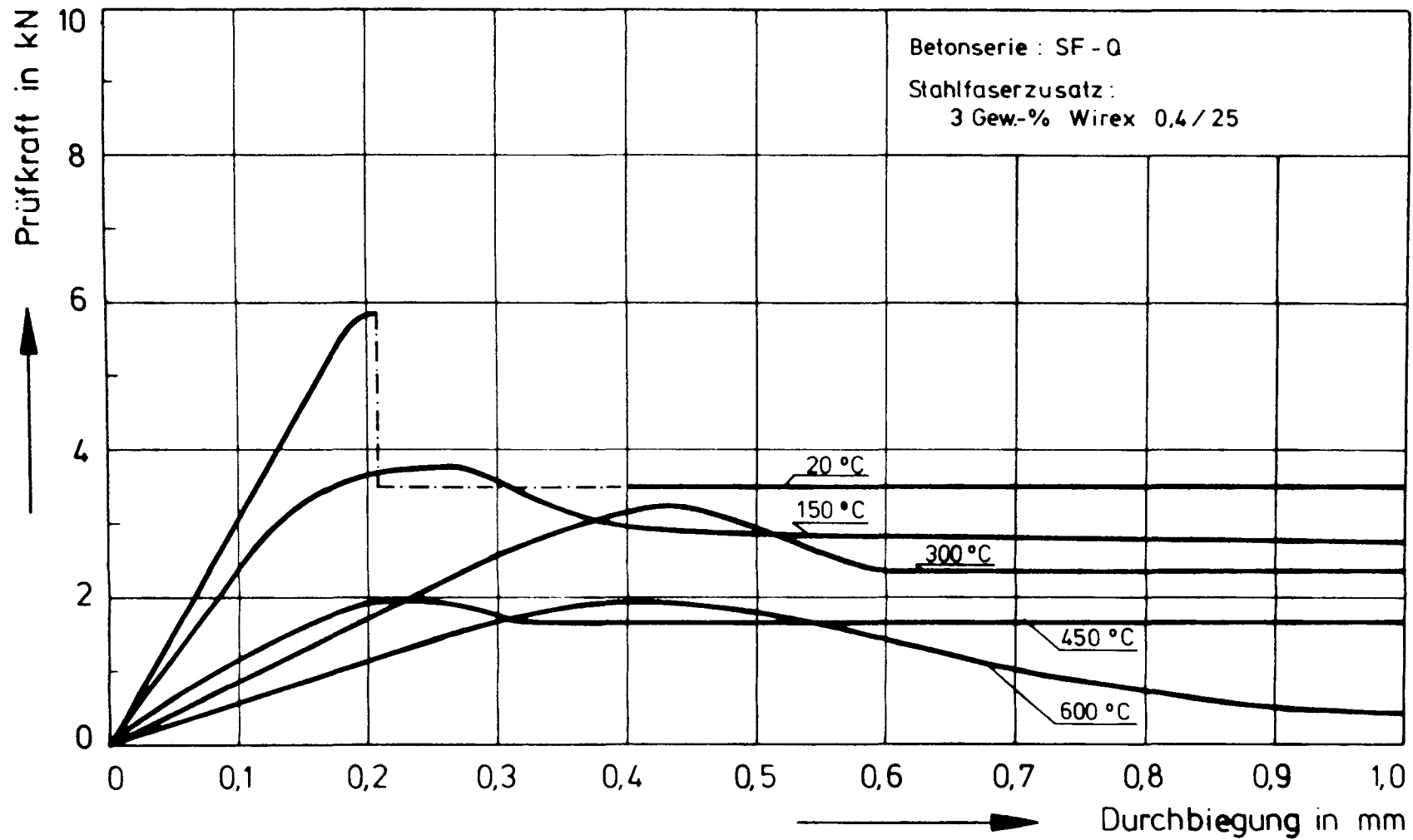


Bild 10: Kraft-Durchbiegungs-Beziehungen von stahlfaserbewehrtem Kiesbeton bei hohen Temperaturen;
 Beton mit silica fume-Zusatz

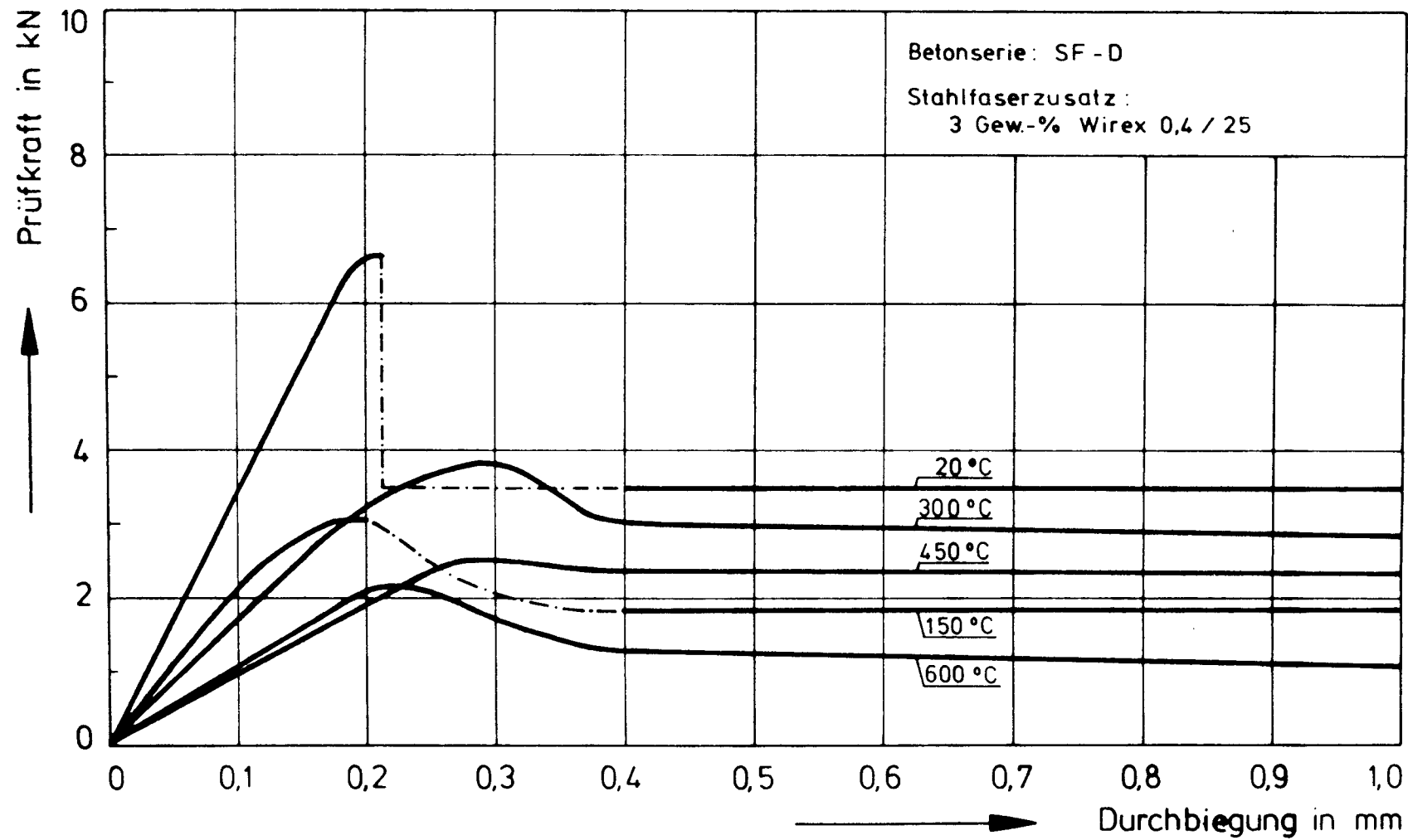


Bild 11: Kraft-Durchbiegungs-Beziehungen von stahlfaserbewehrtem Diabassplittbeton bei hohen Temperaturen;
Beton mit silica fume-Zusatz

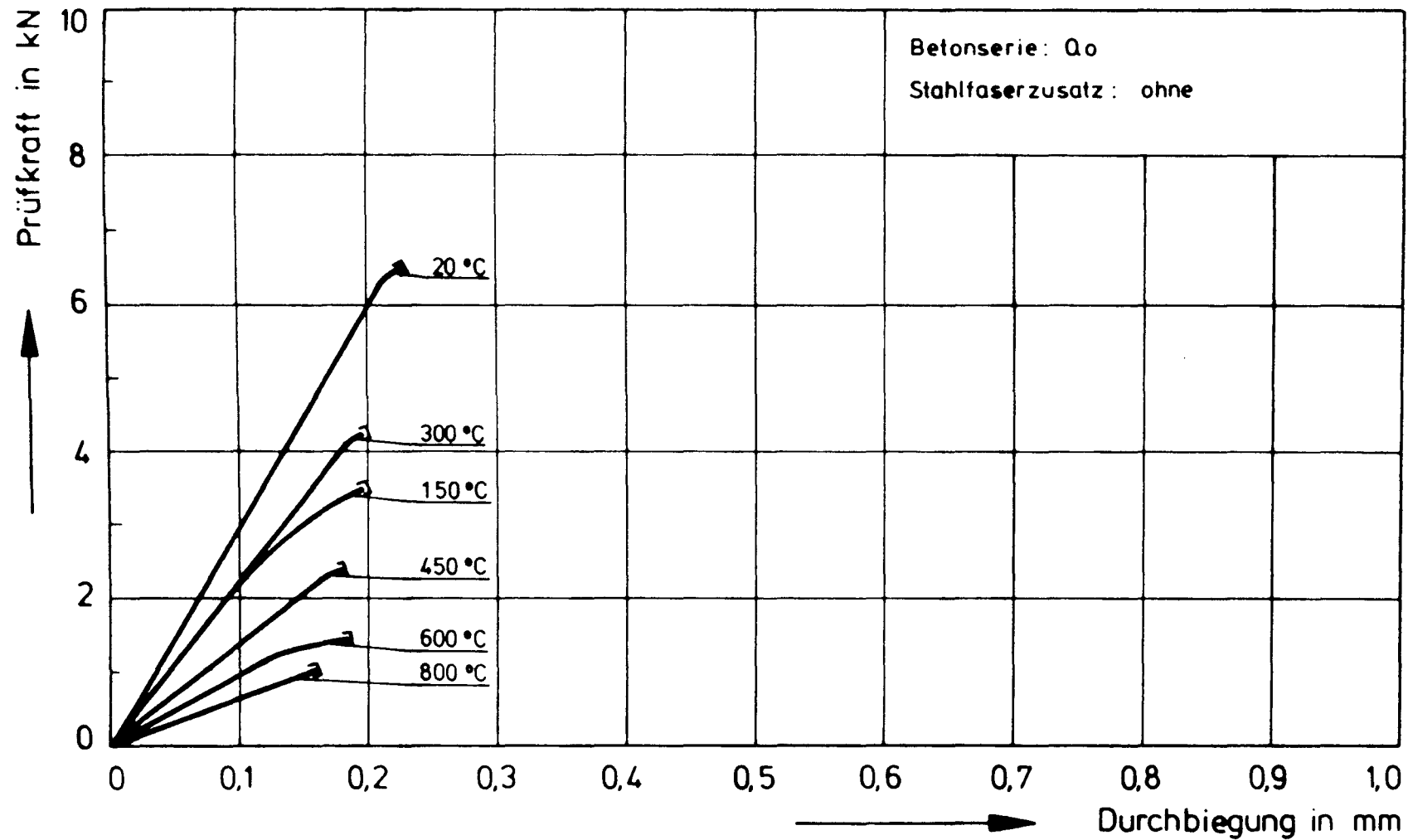


Bild 12: Kraft-Durchbiegungs-Beziehungen von unbewehrtem Kiesbeton bei hohen Temperaturen

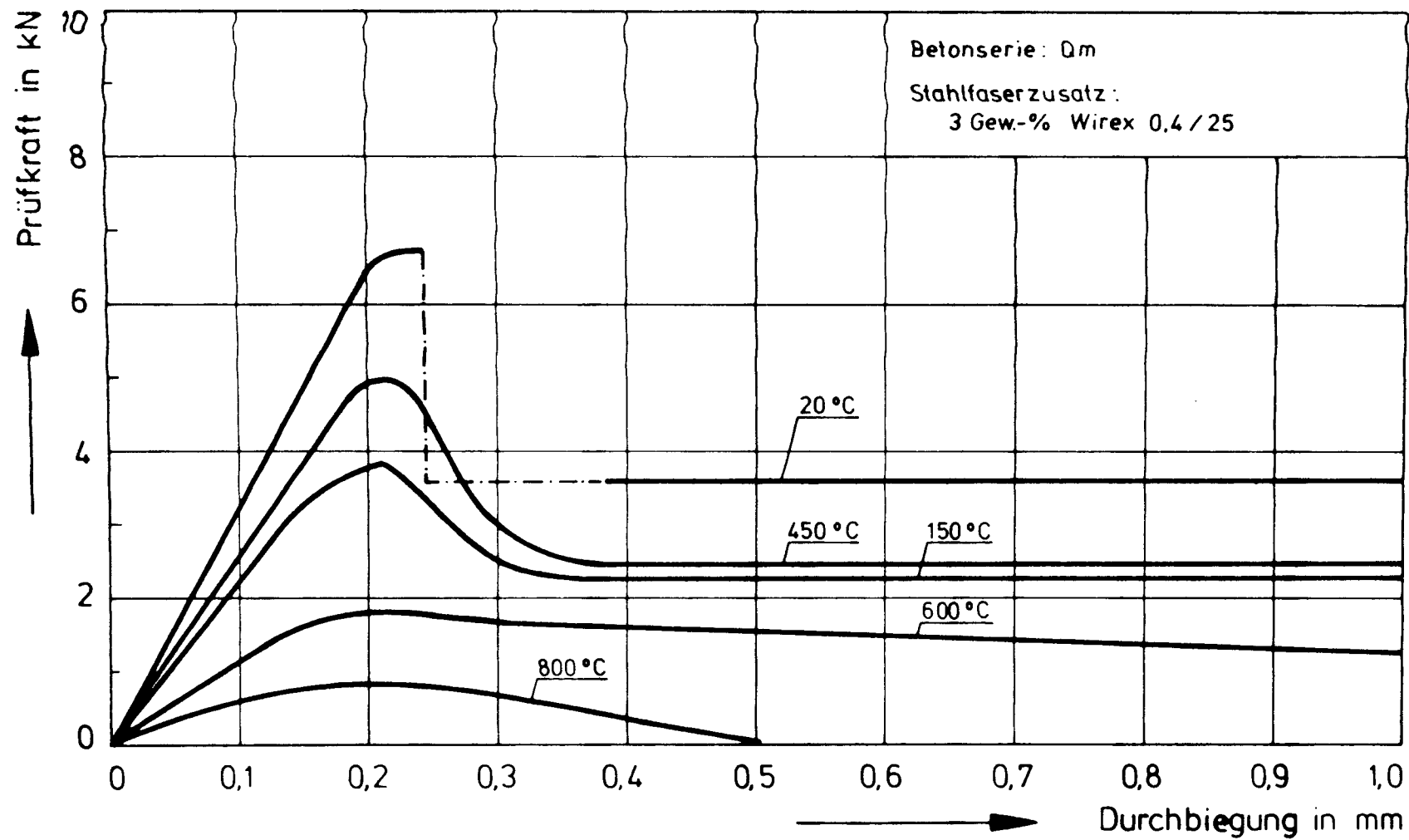


Bild 13: Kraft-Durchbiegungs-Beziehungen von stahlfaserbewehrtem Kiesbeton bei hohen Temperaturen

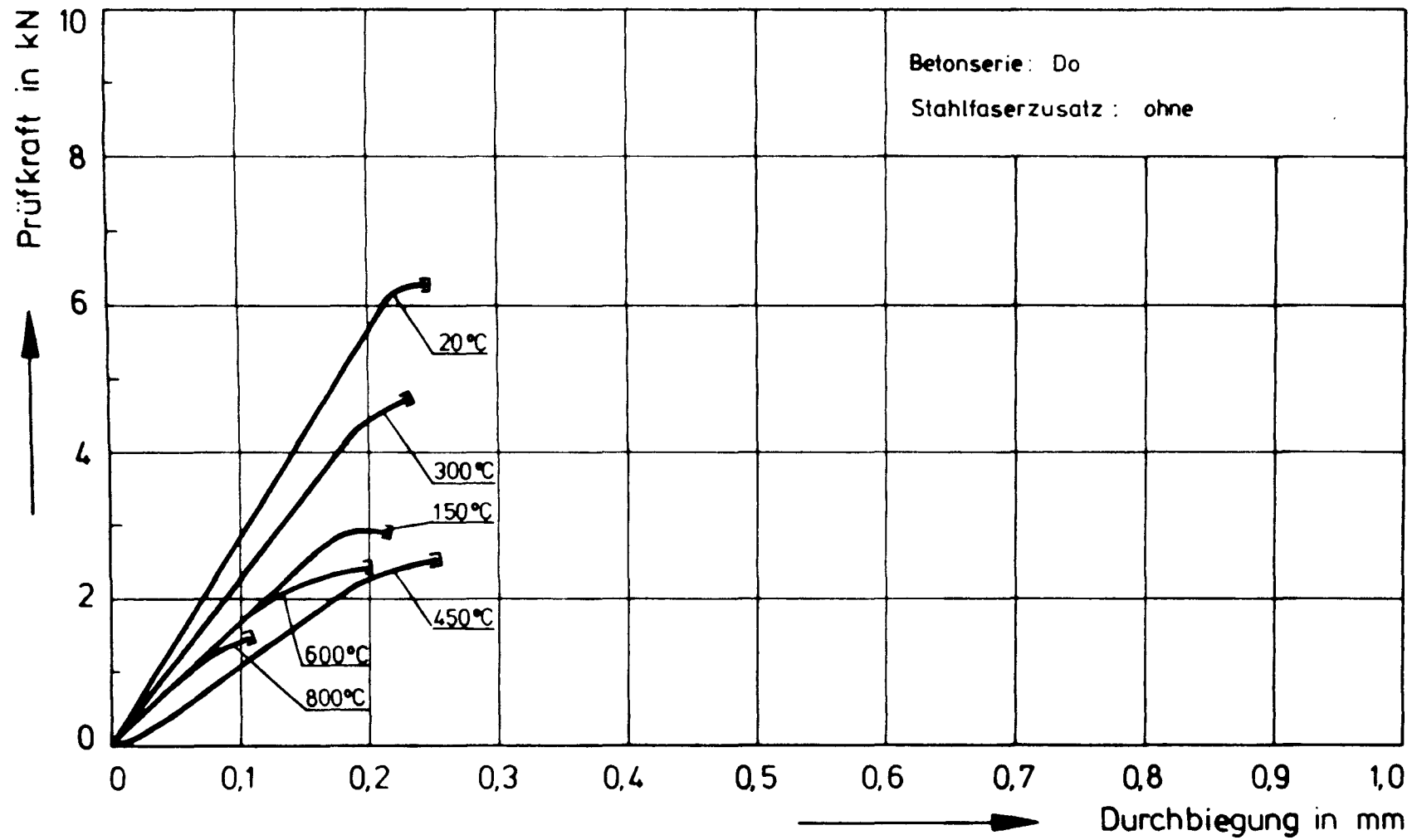


Bild 14: Kraft-Durchbiegungs-Beziehungen von unbewehrtem Diabassplittbeton bei hohen Temperaturen

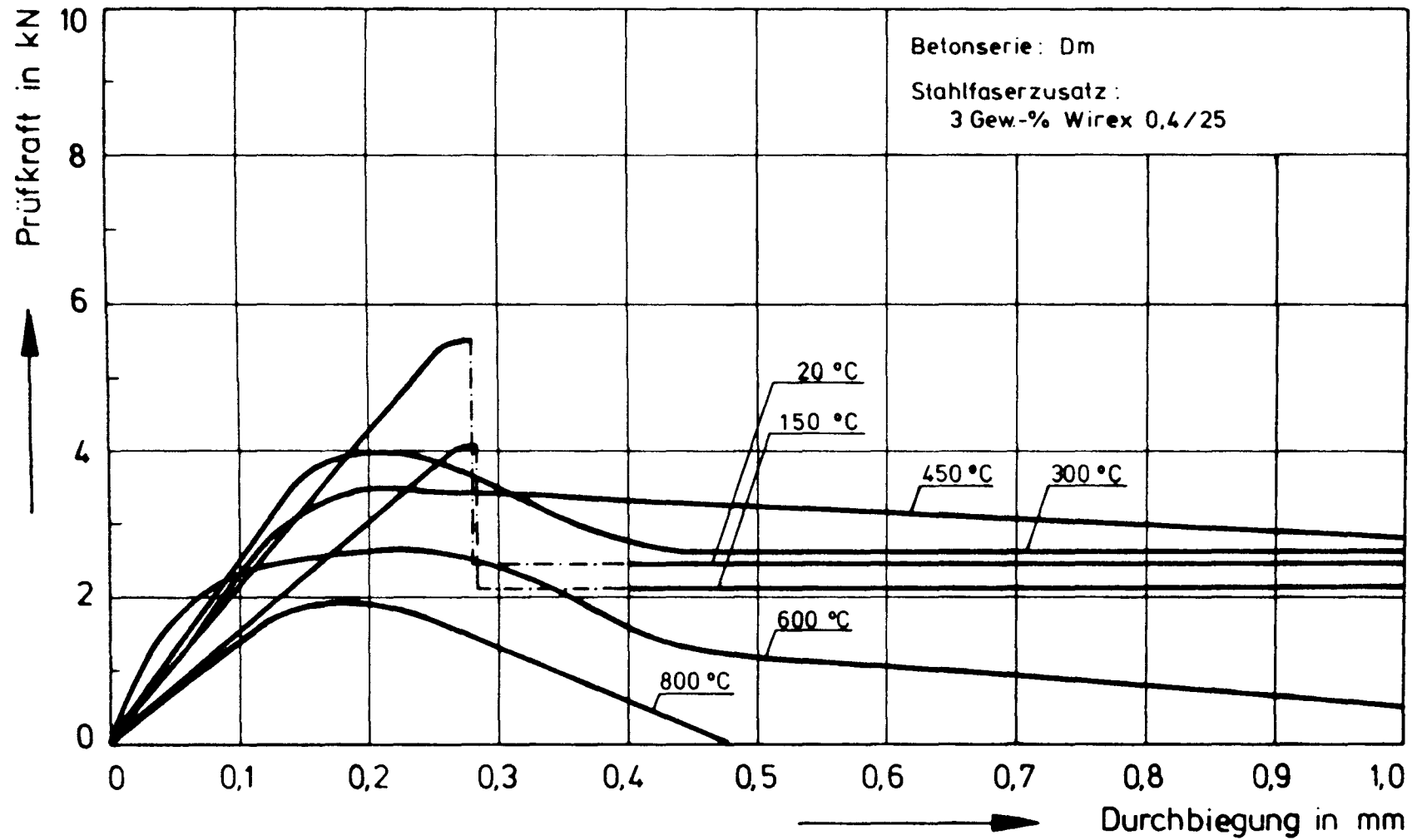


Bild 15: Kraft-Durchbiegungs-Beziehungen von stahlfaserbewehrtem Diabassplittbeton bei hohen Temperaturen

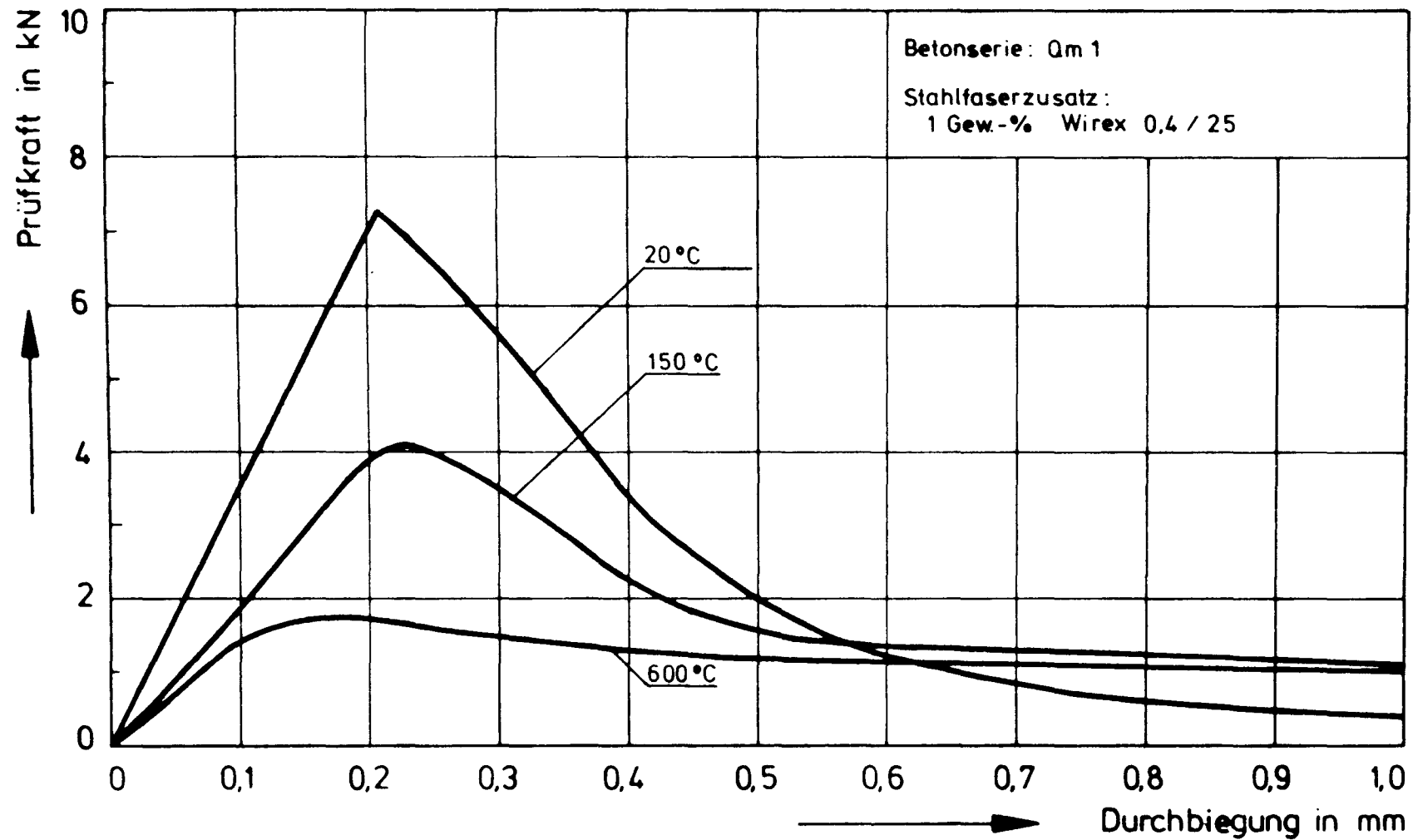


Bild 16: Kraft-Durchbiegungs-Beziehungen von stahlfaserbewehrtem Kiesbeton bei hohen Temperaturen;
Fasergehalt 1 Gew.-%

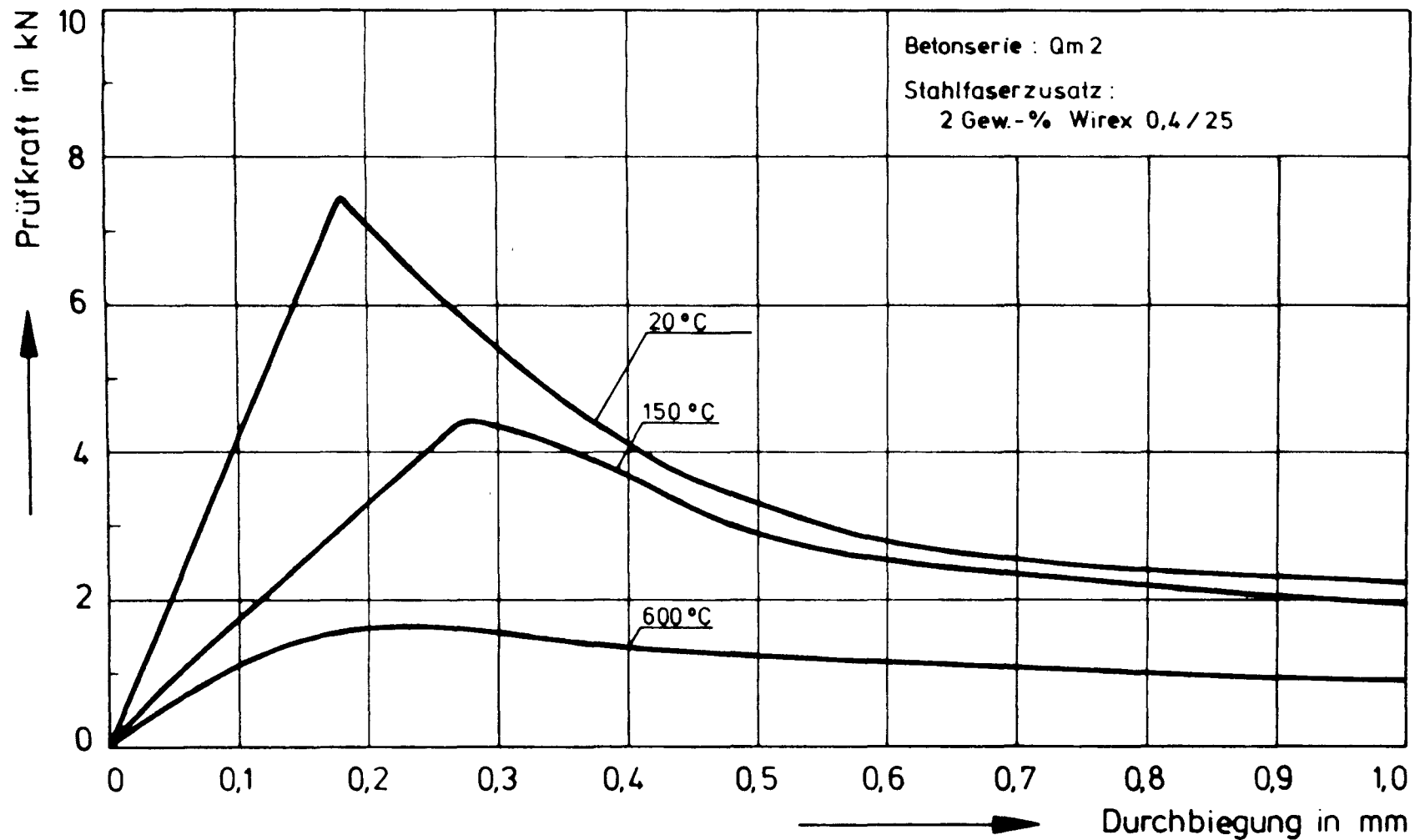


Bild 17: Kraft-Durchbiegungs-Beziehungen von stahlfaserbewehrtem Kiesbeton bei hohen Temperaturen;
 Fasergehalt 2 Gew.-%

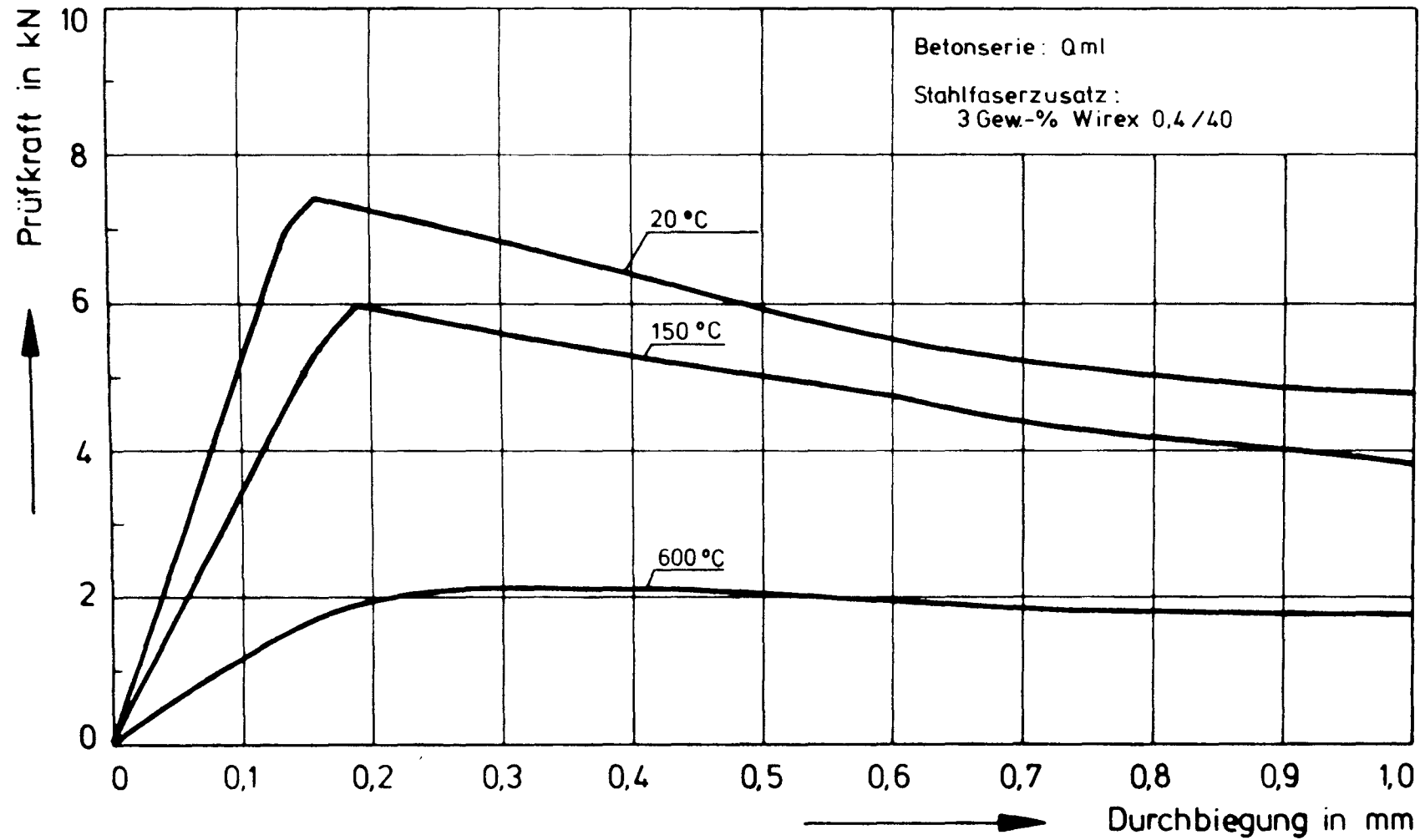


Bild 18: Kraft-Durchbiegungs-Beziehungen von stahlfaserbewehrtem Kiesbeton bei hohen Temperaturen;
Kiesbeton mit langen (40 mm) Stahlfasern

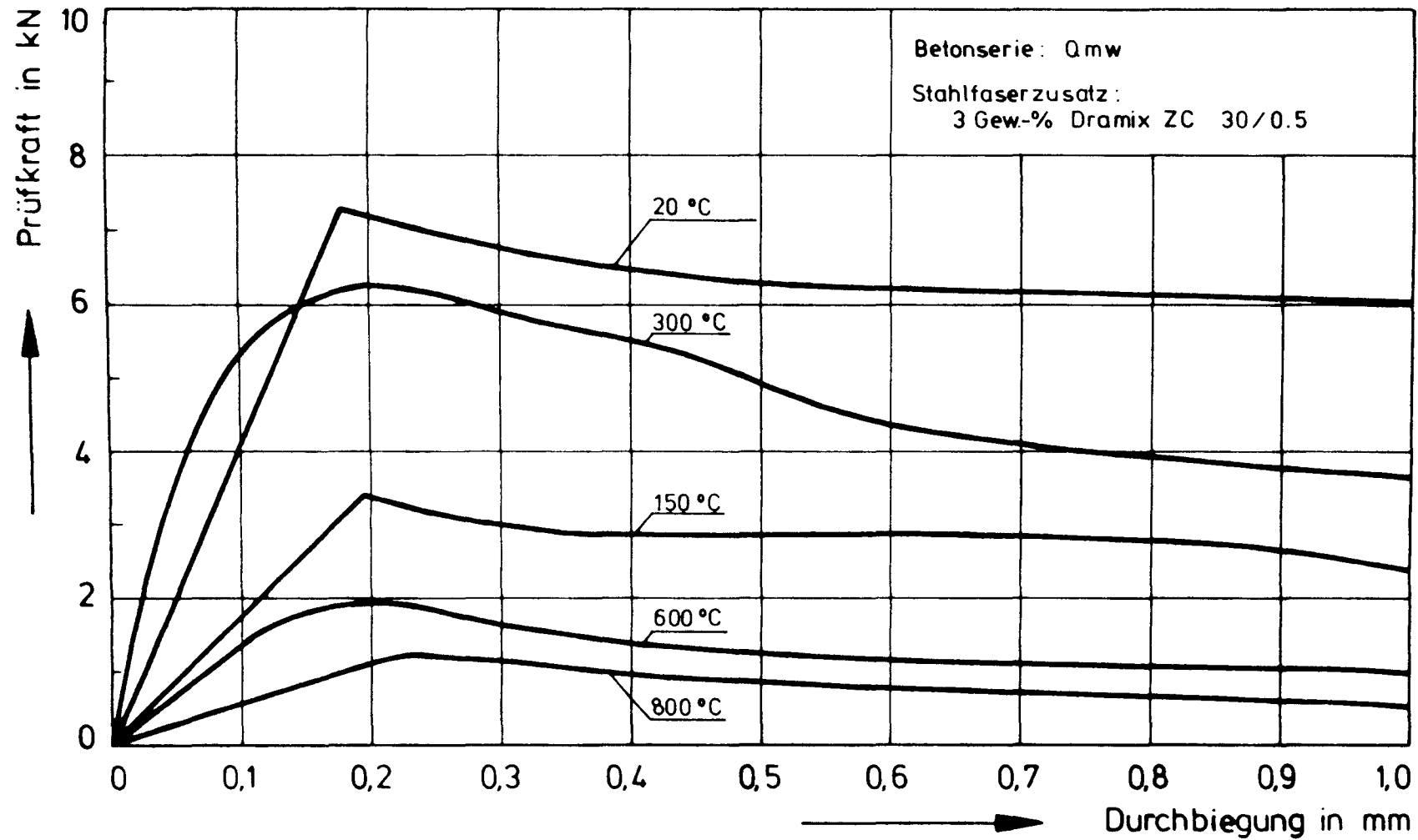


Bild 19: Kraft-Durchbiegungs-Beziehungen von stahlfaserbewehrtem Kiesbeton bei hohen Temperaturen;
3 Gew.-% Hakenfasern

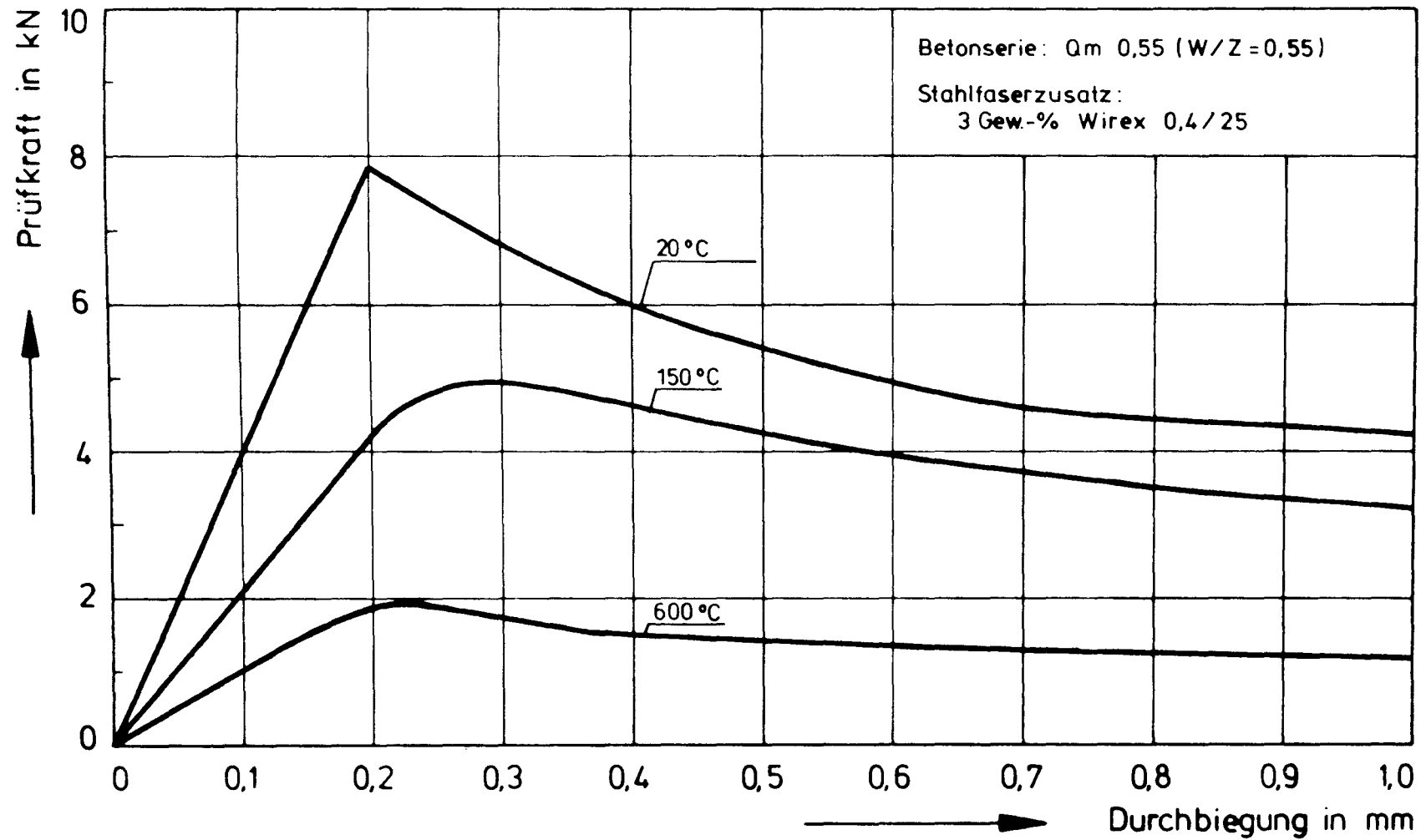


Bild 20: Kraft-Durchbiegungs-Beziehungen von stahlfaserbewehrtem Kiesbeton bei hohen Temperaturen;
 Beton mit höherem W/Z -Wert ($W/Z = 0,55$)

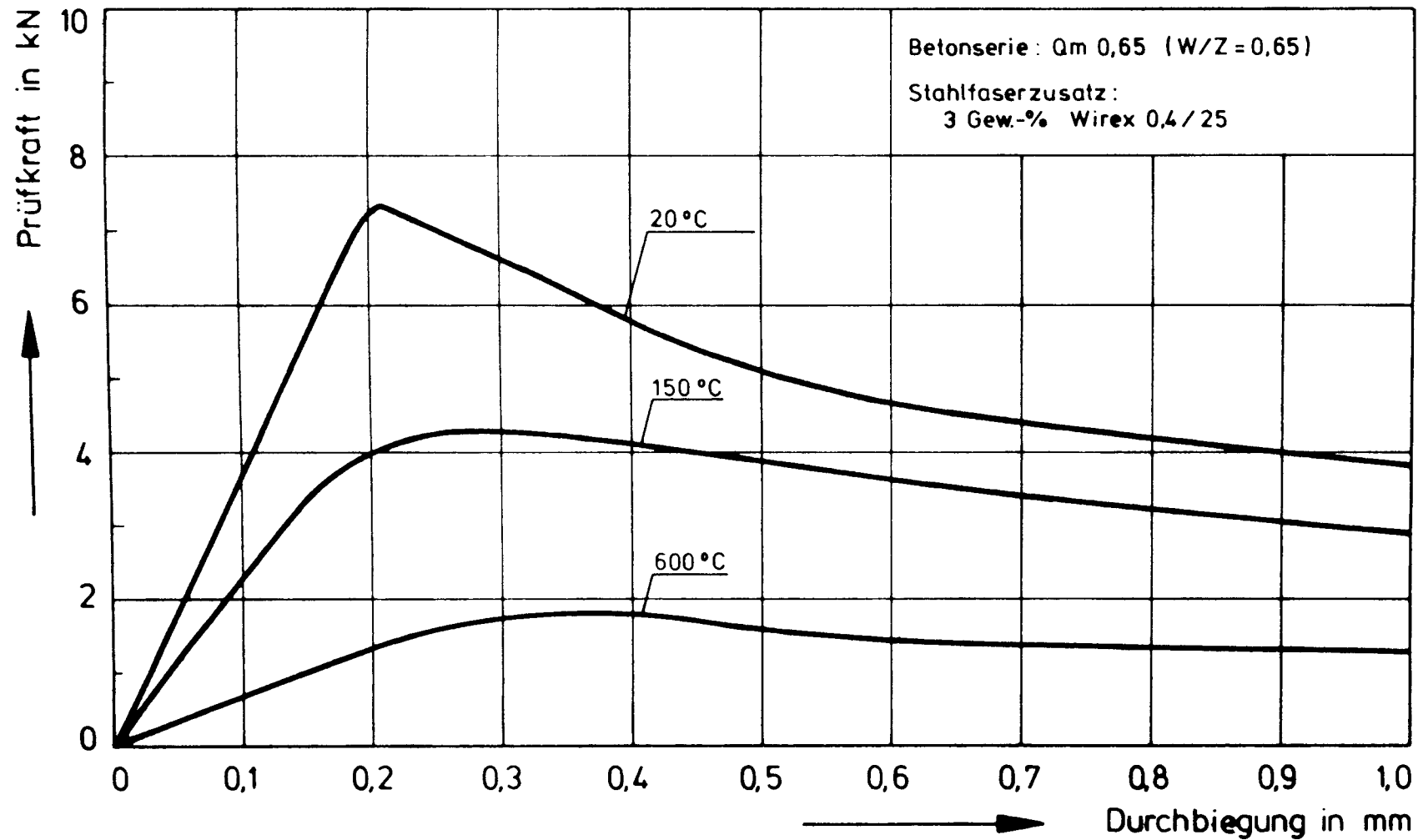


Bild 21: Kraft-Durchbiegungs-Beziehungen von stahlfaserbewehrtem Kiesbeton bei hohen Temperaturen;
 Beton mit hohem W/Z -Wert ($W/Z = 0,65$)

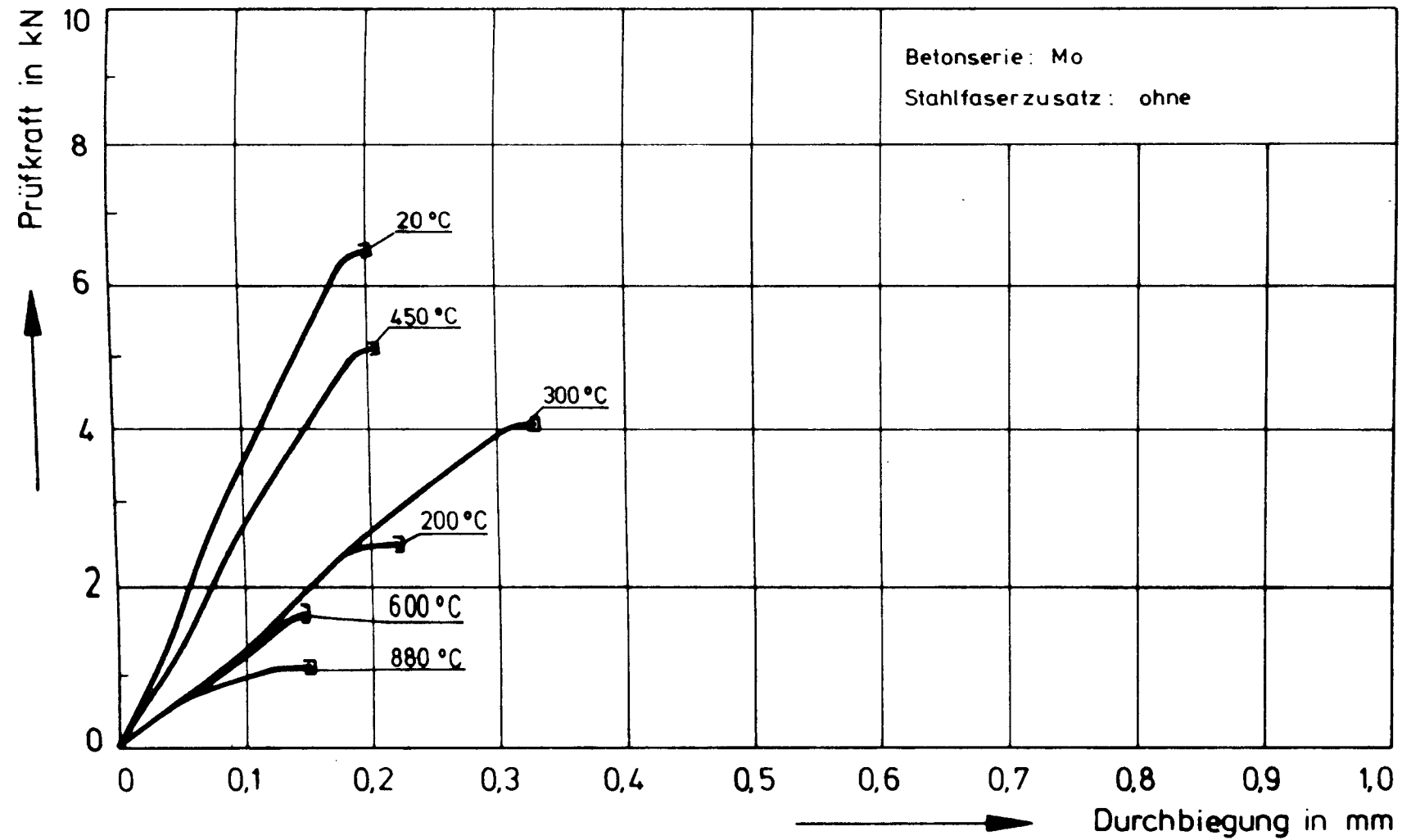


Bild 22: Kraft-Durchbiegungs-Beziehungen von unbewehrtem Mörtel bei hohen Temperaturen

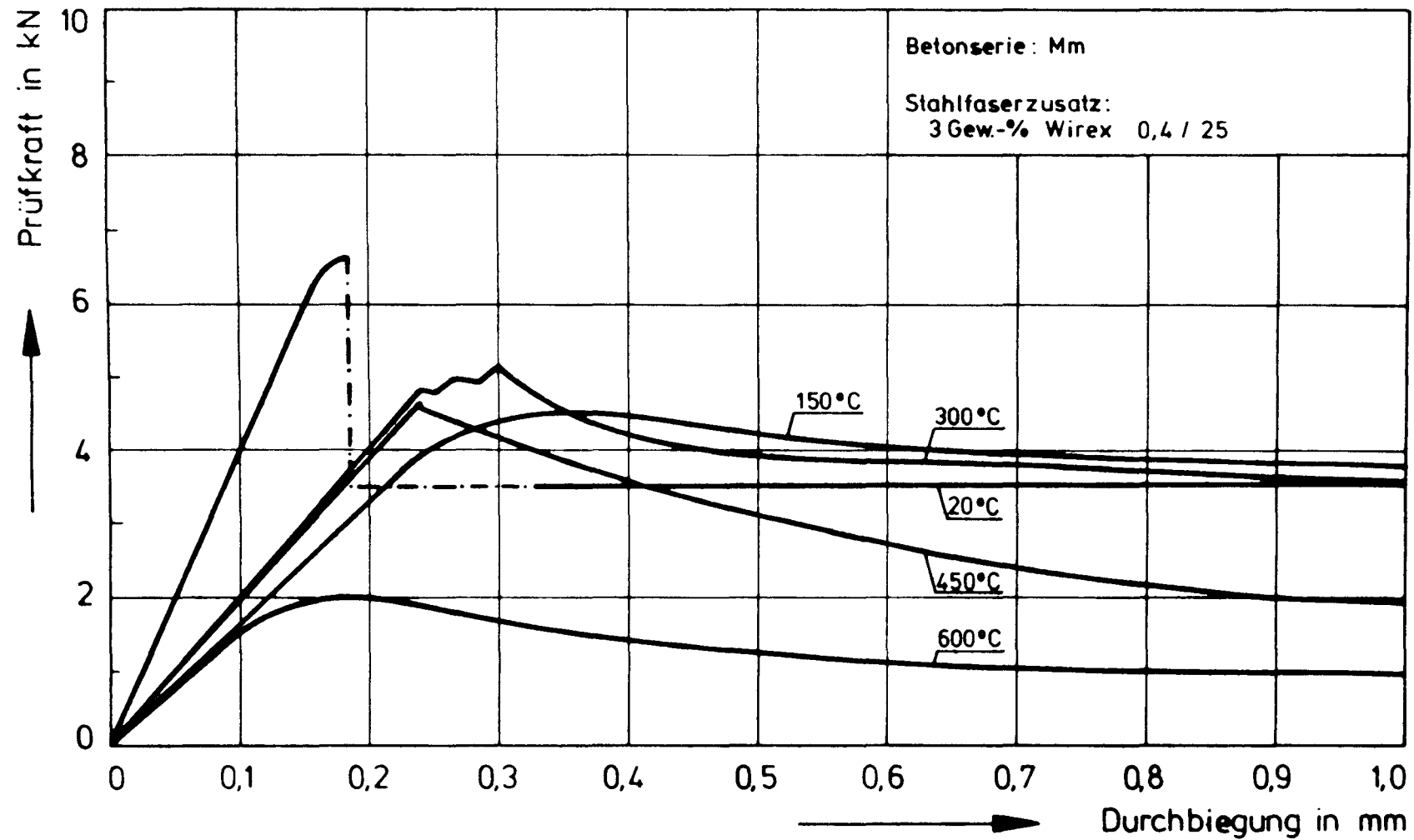


Bild 23: Kraft-Durchbiegungs-Beziehungen von stahlfaserbewehrtem Mörtel bei hohen Temperaturen

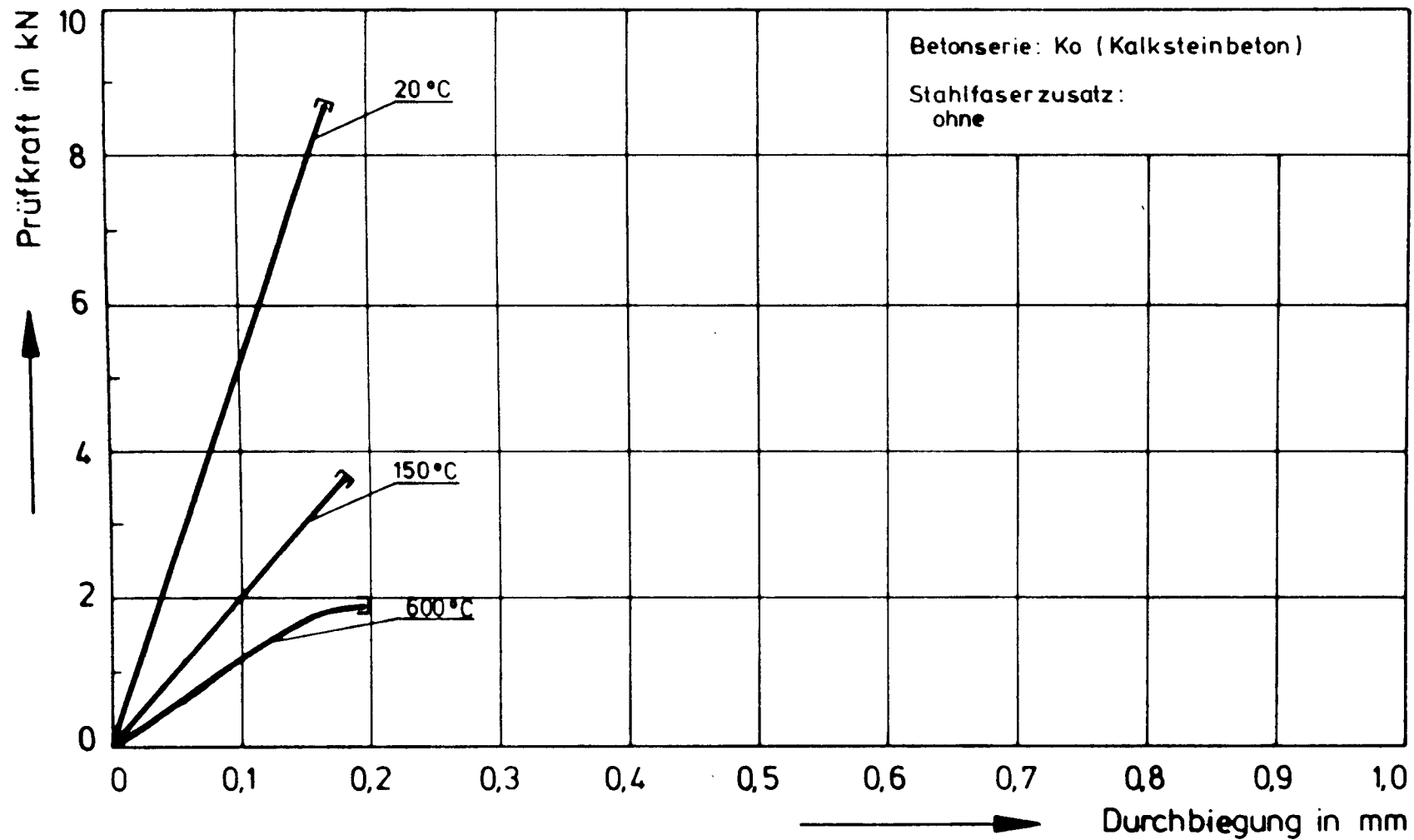


Bild 24: Kraft-Durchbiegungs-Beziehungen von unbewehrtem Kalksplittbeton bei hohen Temperaturen

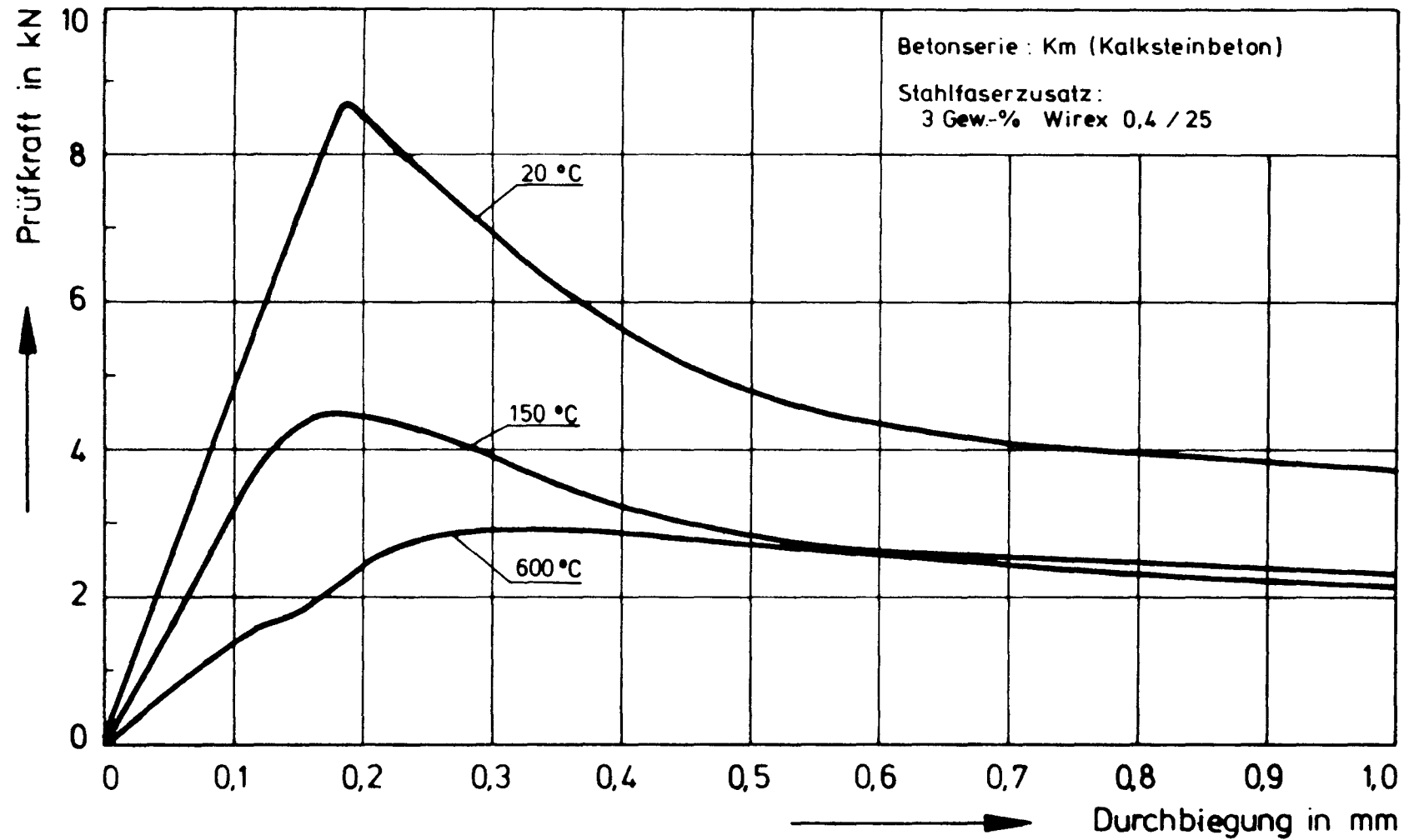


Bild 25: Kraft-Durchbiegungs-Beziehungen von stahlfaserbewehrtem Kalksteinbeton bei hohen Temperaturen

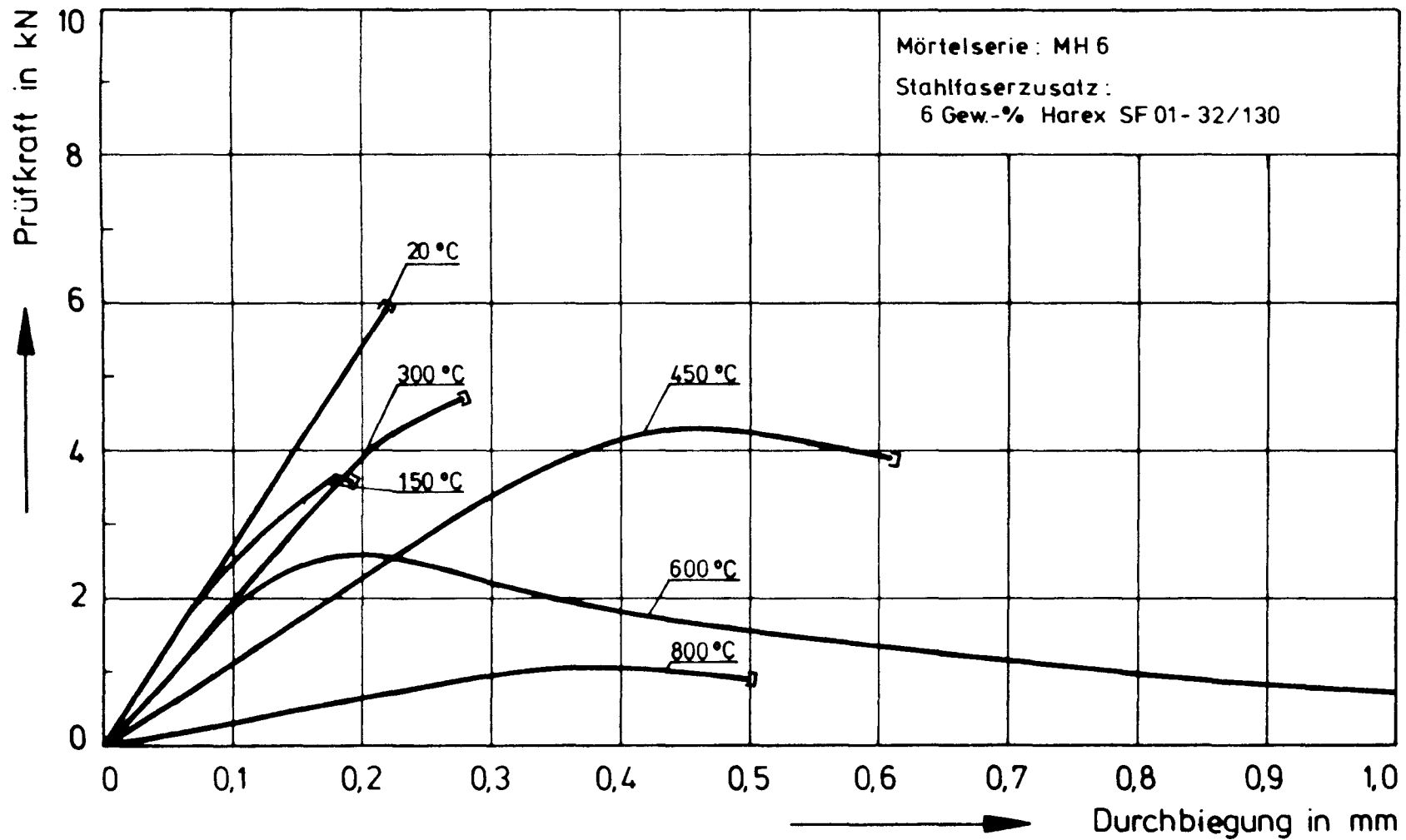


Bild 26: Kraft-Durchbiegungs-Beziehungen von stahlfaserbewehrtem Mörtel bei hohen Temperaturen;
6 Gew.-% gefräste Fasern

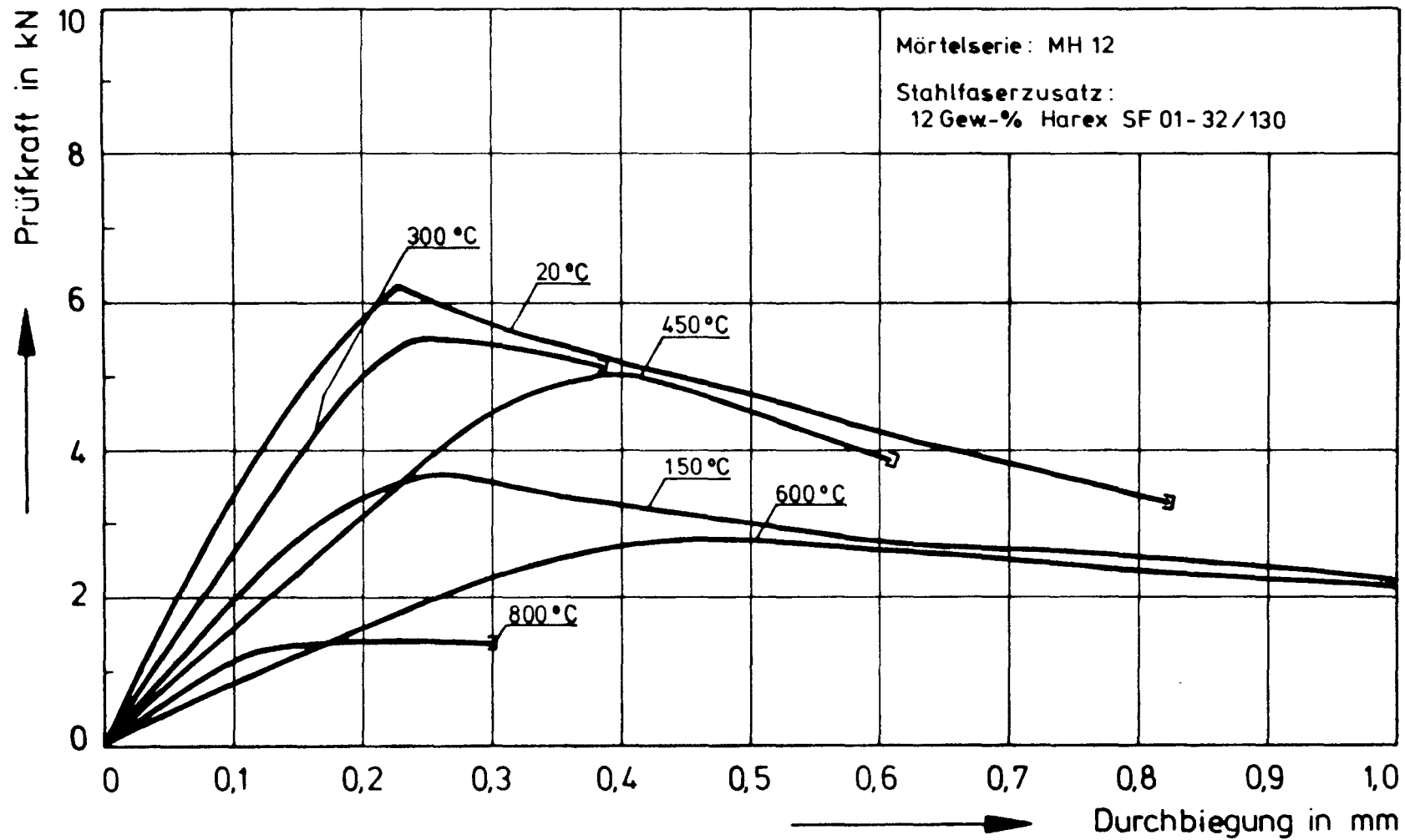


Bild 27: Kraft-Durchbiegungs-Beziehungen von stahlfaserbewehrtem Mörtel bei hohen Temperaturen;
12 Gew.-% geätzte Fasern

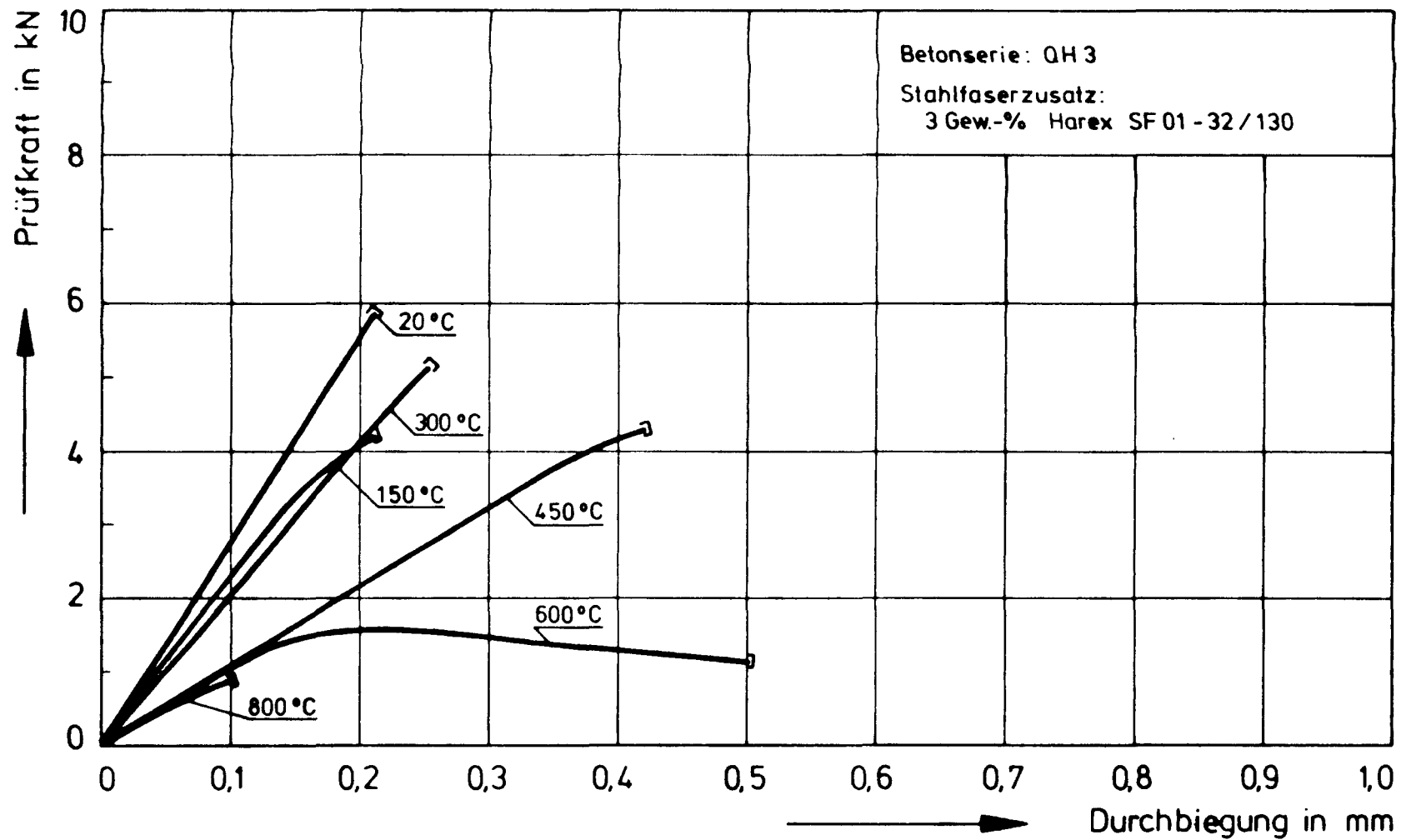


Bild 28: Kraft-Durchbiegungs-Beziehungen von stahlfaserbewehrtem Kiesbeton bei hohen Temperaturen;
3 Gew.-% gefräste Fasern

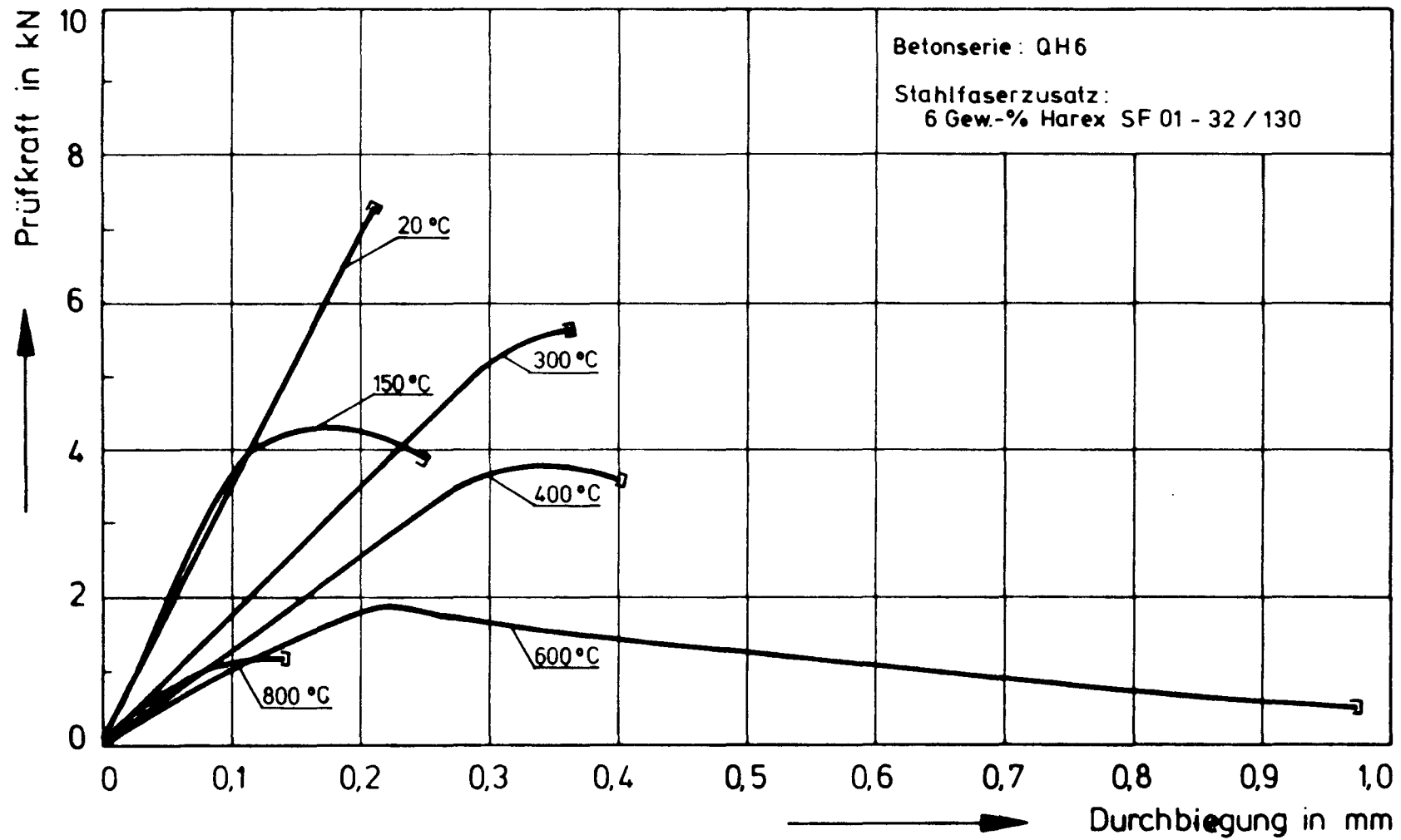


Bild 29: Kraft-Durchbiegungs-Beziehungen von stahlfaserbewehrtem Kiesbeton bei hohen Temperaturen, 6 Gew.-% gefräste Fasern

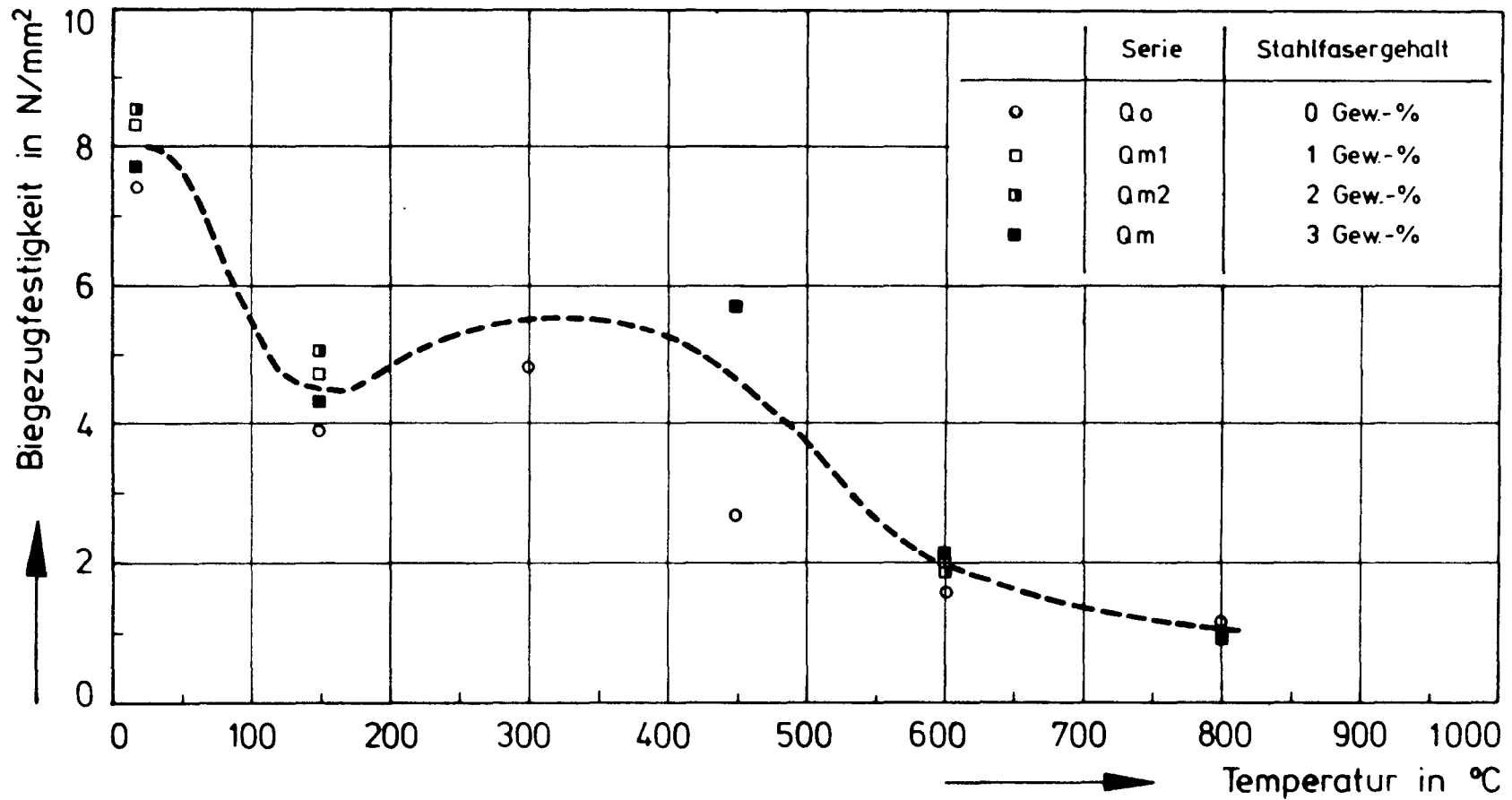


Bild 30: Einfluß des Fasergehalts (Wirex 0,4/25 mm) von Kiesbeton auf seine Biegezugfestigkeit bei hohen Temperaturen

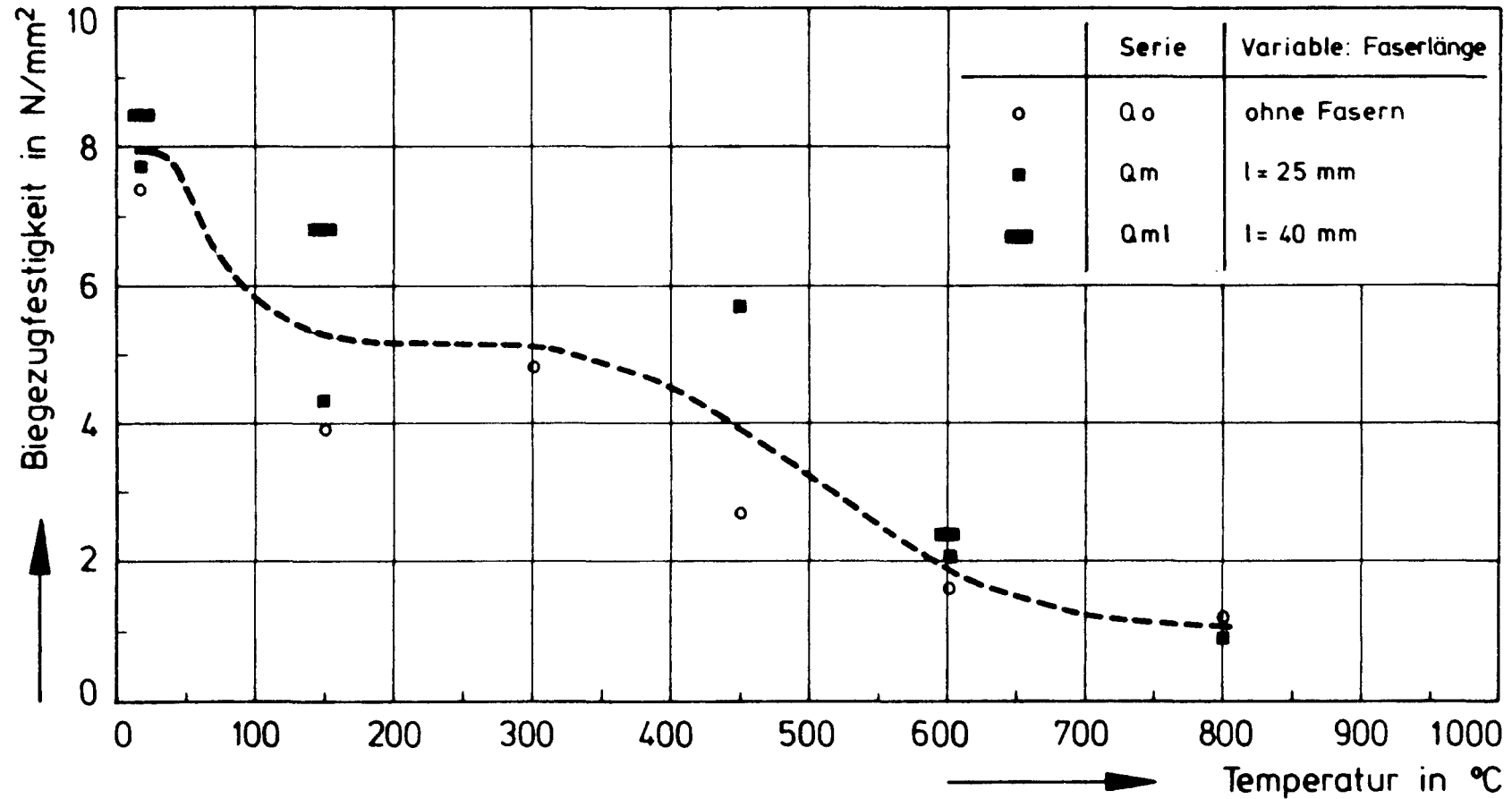


Bild 31: Einfluß der Faserlänge auf die Biegezugfestigkeit von Stahlfaserbewehrtem Kiesbeton bei hohen Temperaturen

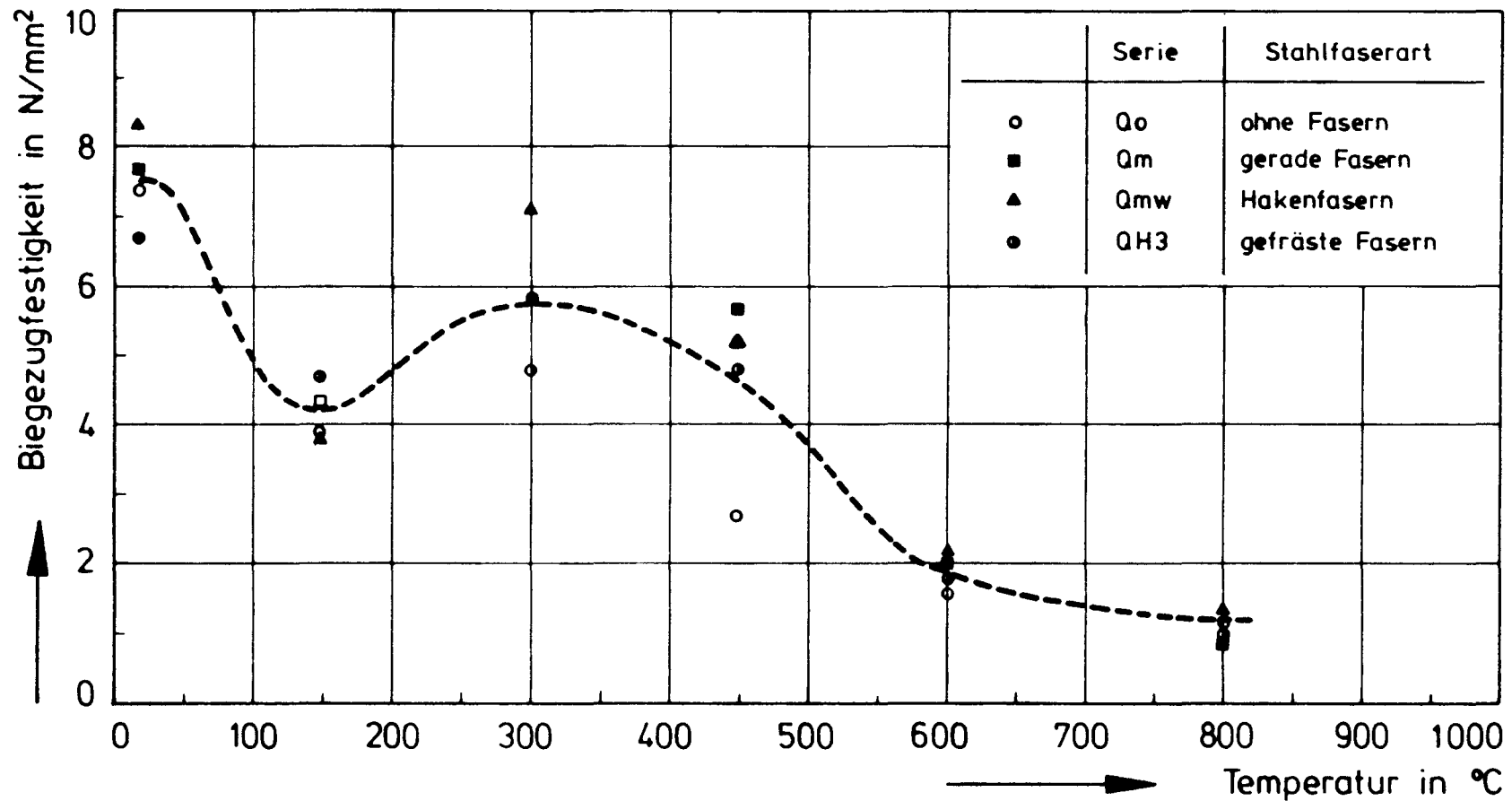


Bild 32: Einfluß der Stahlfaserart auf die Biegezugfestigkeit von stahlfaserbewehrtem Kiesbeton bei hohen Temperaturen

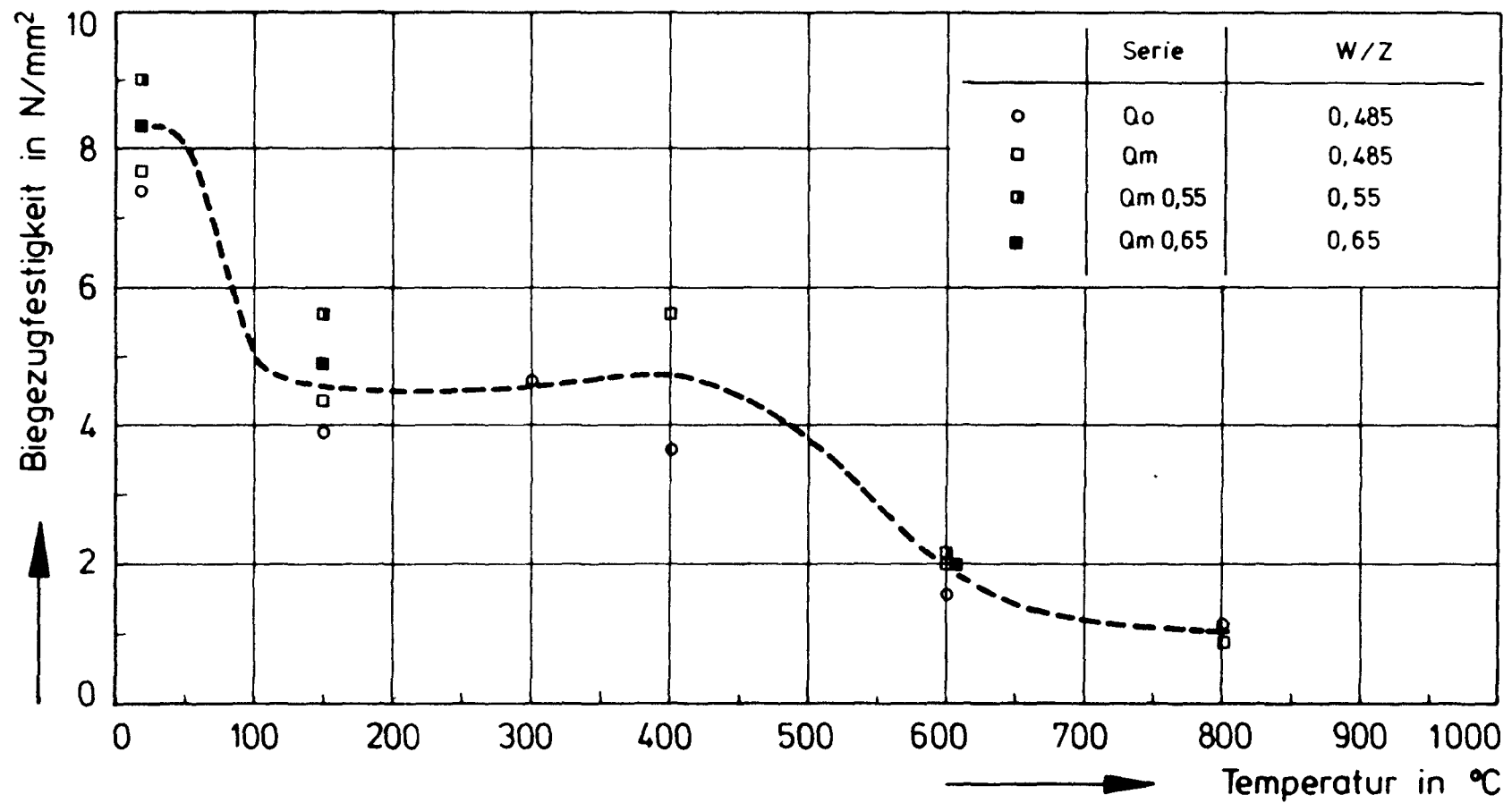


Bild 33: Einfluß des W/Z-Wertes auf die Biegezugfestigkeit von stahlfaserbewehrtem Kiesbeton bei hohen Temperaturen

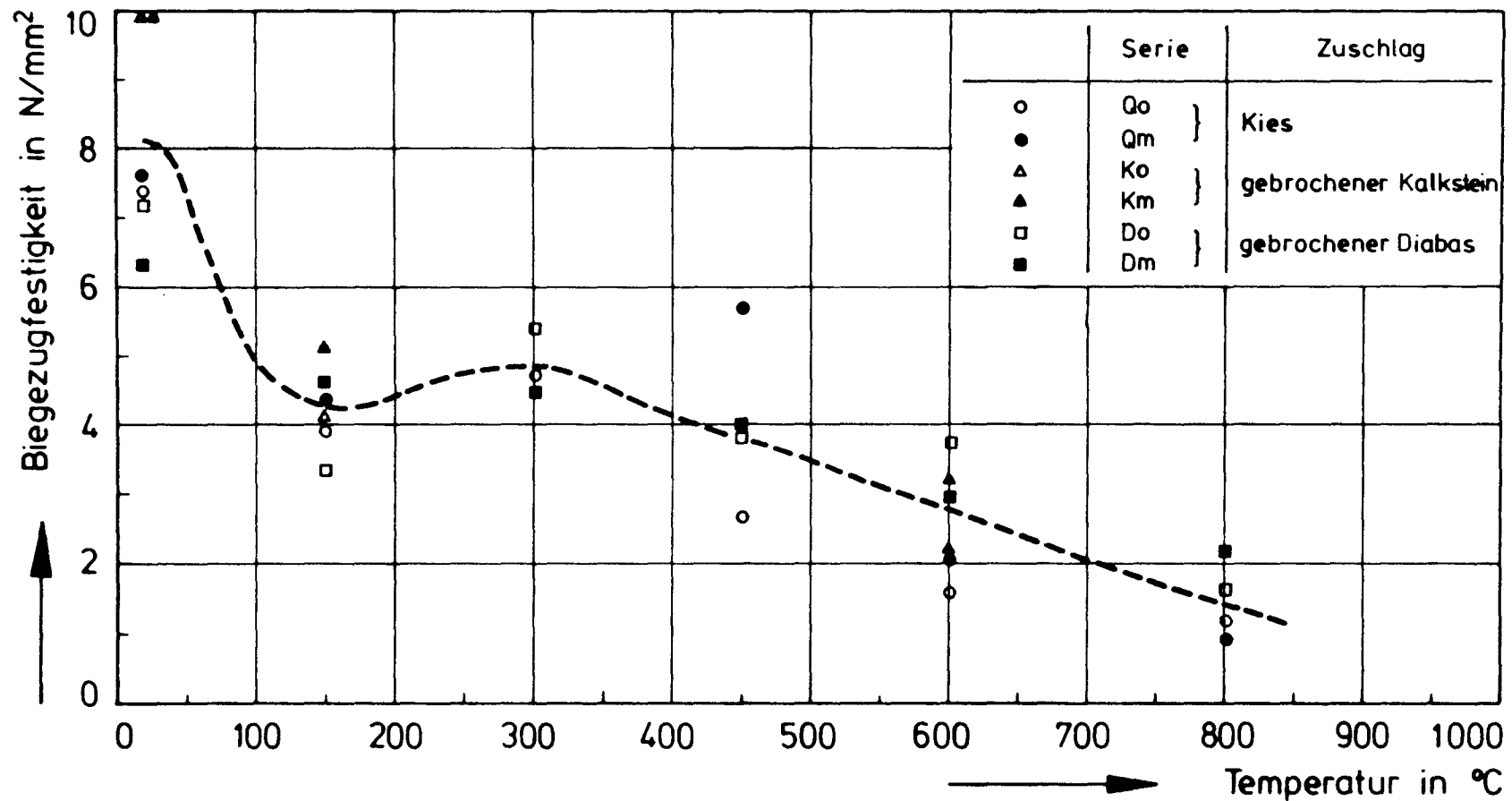


Bild 34: Einfluß der Zuschlagsart auf die Biegezugfestigkeit von Stahlfaserbeton bei hohen Temperaturen

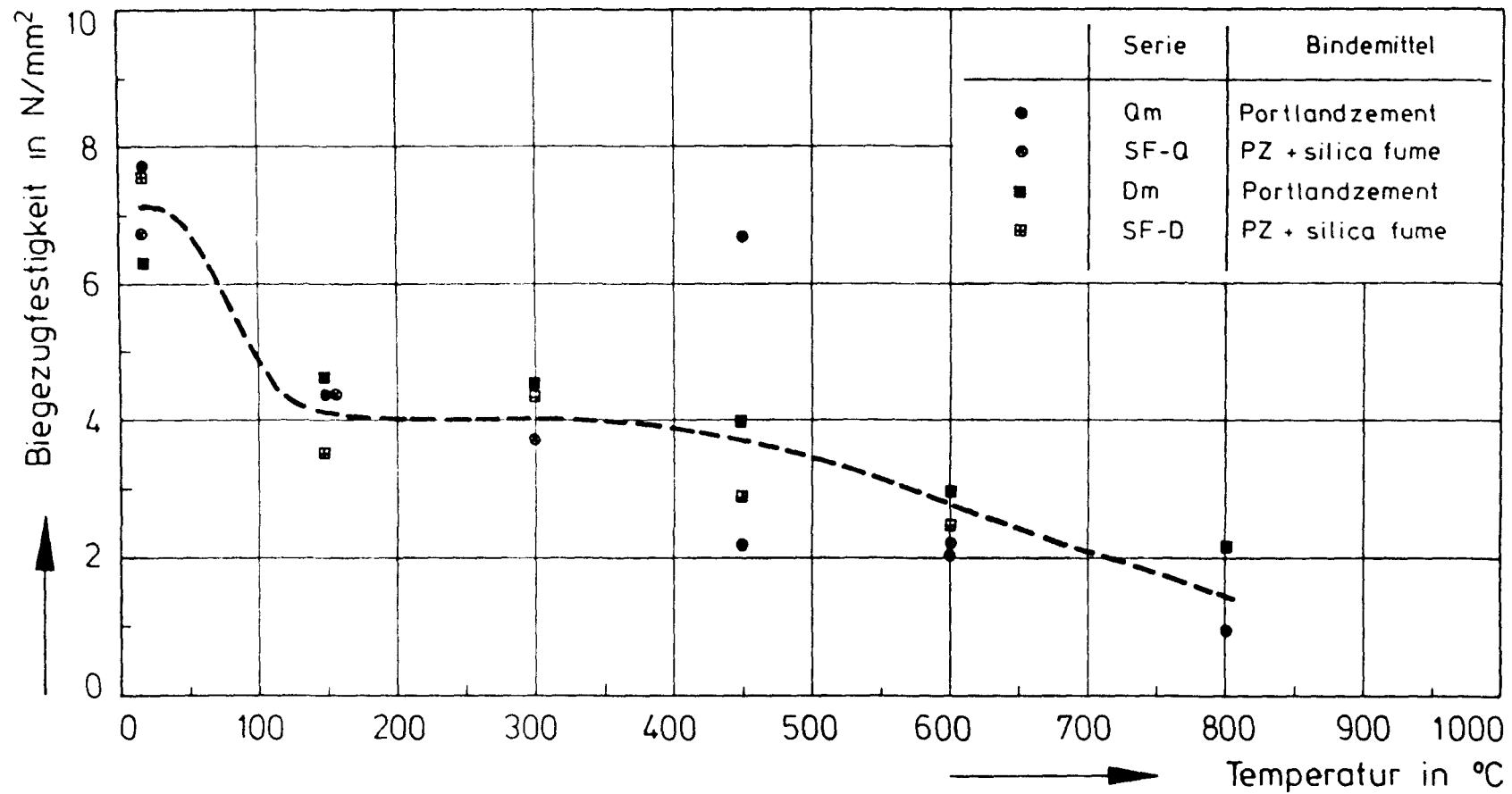


Bild 35: Einfluß des Bindemittels auf die Biegezugfestigkeit von Stahlfaserbeton bei hohen Temperaturen

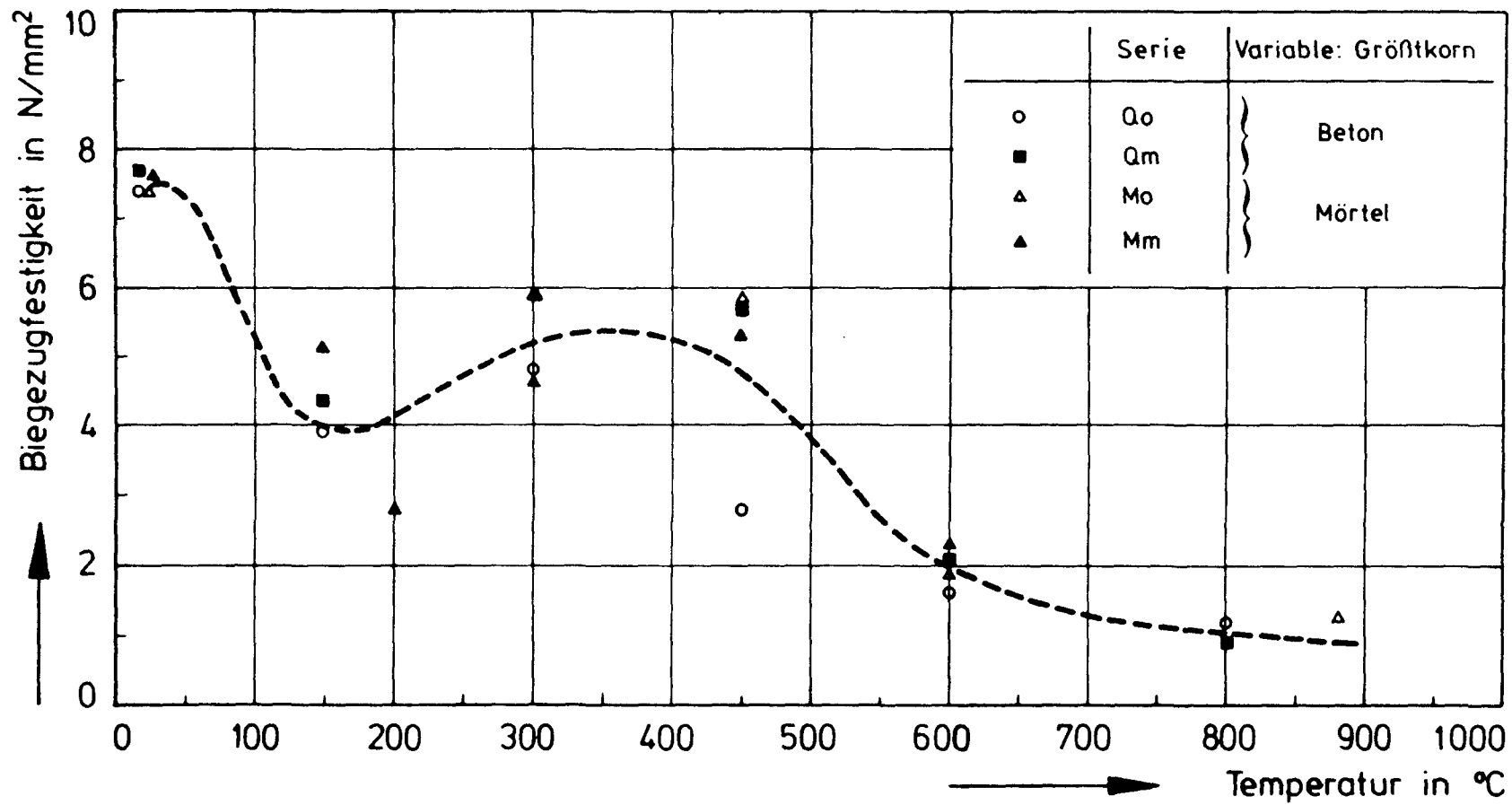


Bild 36: Einfluß des Kornaufbaus auf die Biegezugfestigkeit von Stahlfaserbeton bei hohen Temperaturen

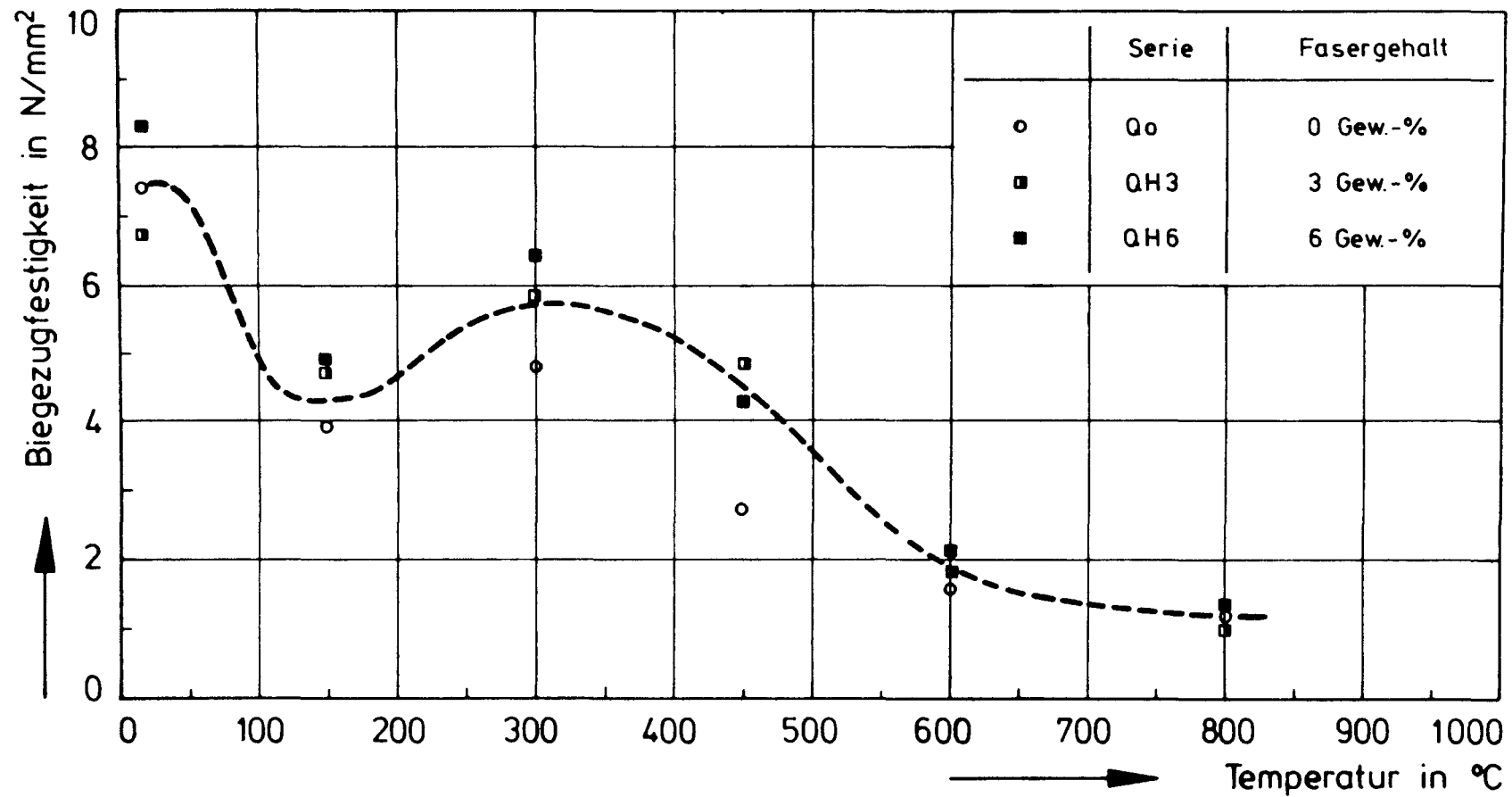


Bild 37: Einfluß des Fasergehalts auf die Biegezugfestigkeit von stahlfaserbewehrtem Beton bei hohen Temperaturen; gefräste Stahlfasern

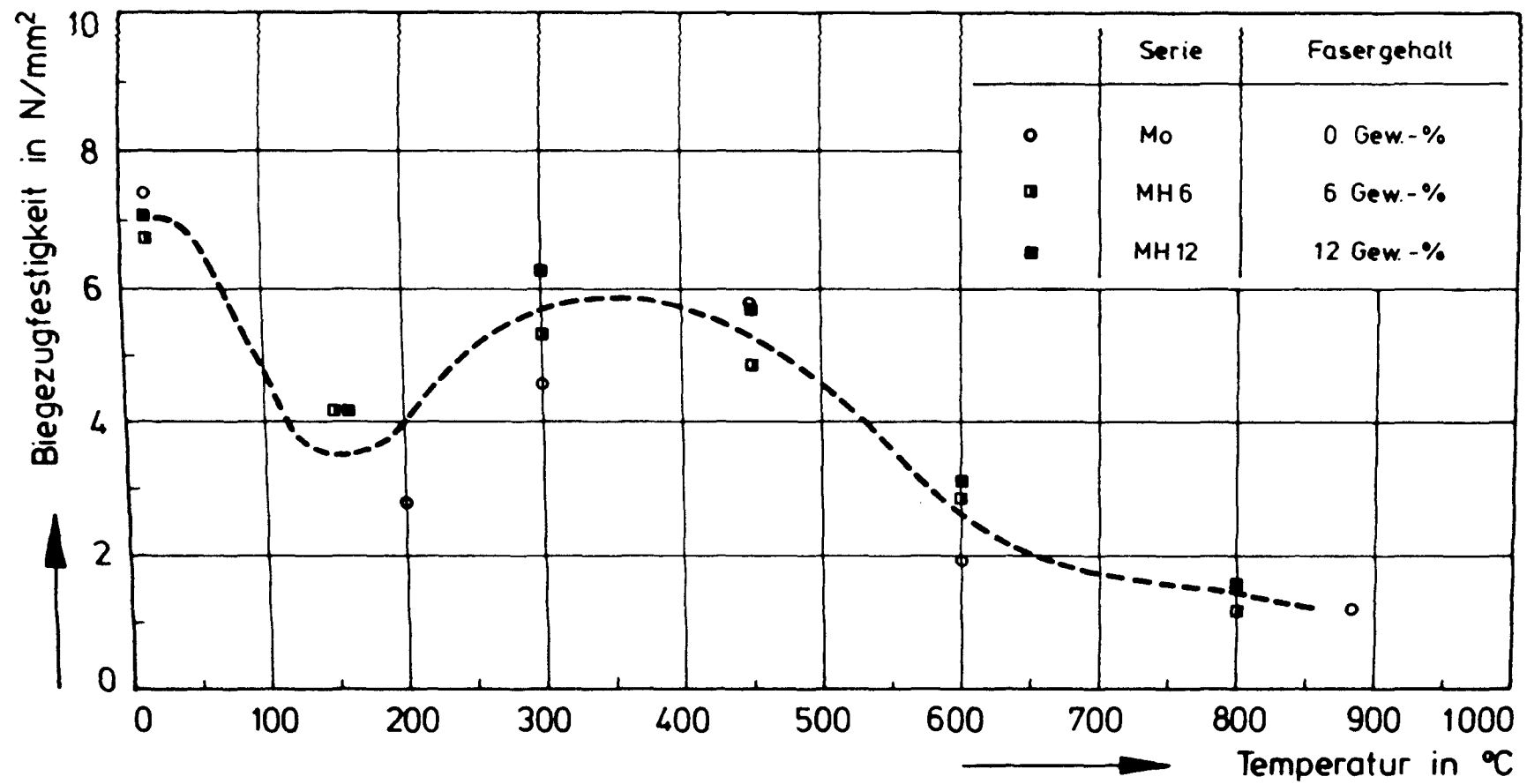


Bild 38: Einfluß des Fasergehalts auf die Biegezugfestigkeit von stahlfaserbewehrtem Mörtel bei hohen Temperaturen

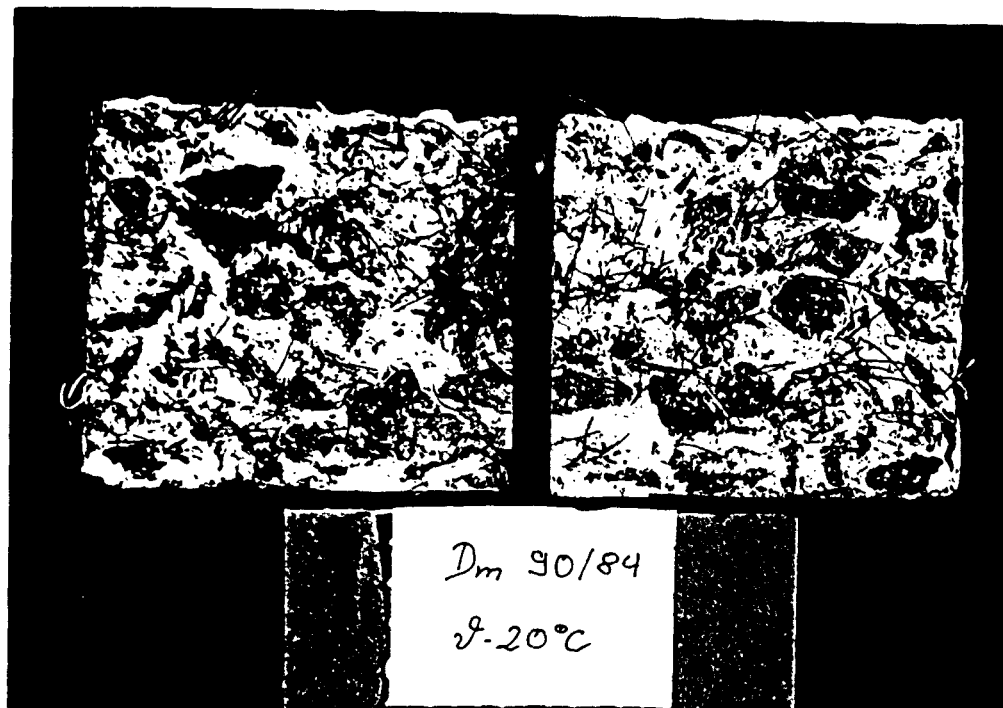


Bild 39: Bruchfläche eines bei Raumtemperatur geprüften, stahlfaserbewehrten Diabasbetonprobekörpers

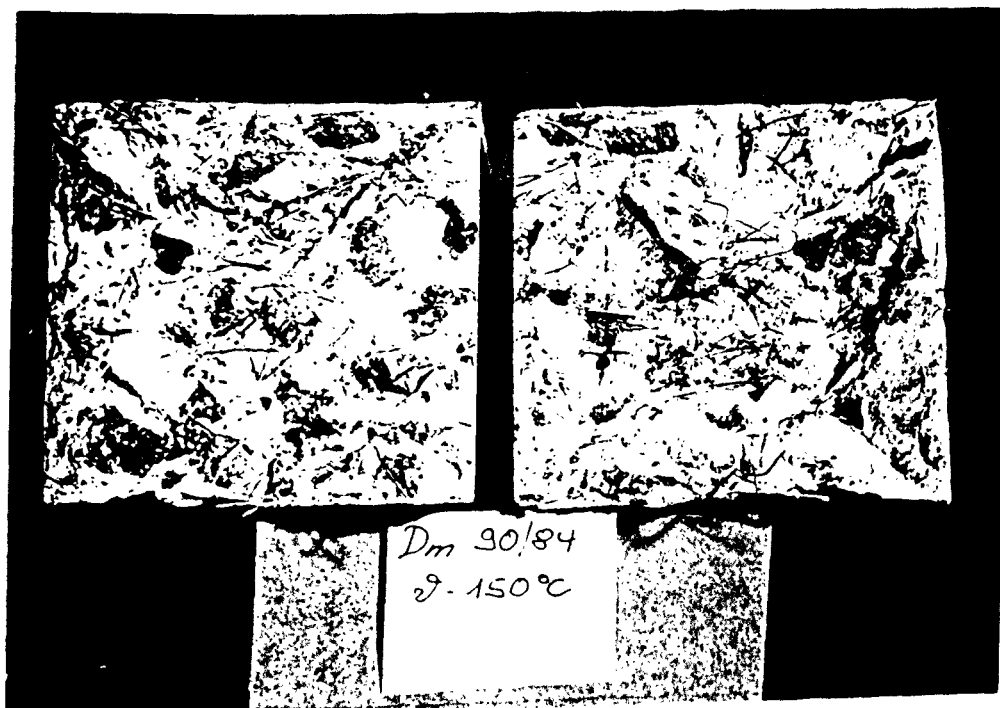


Bild 40: Bruchfläche eines bei 150 °C geprüften, stahlfaserbewehrten Diabasbetonprobekörpers



Bild 41: Bruchfläche eines bei 300 °C geprüften, stahlfaserbewehrten Diabas-
betonprobekörpers

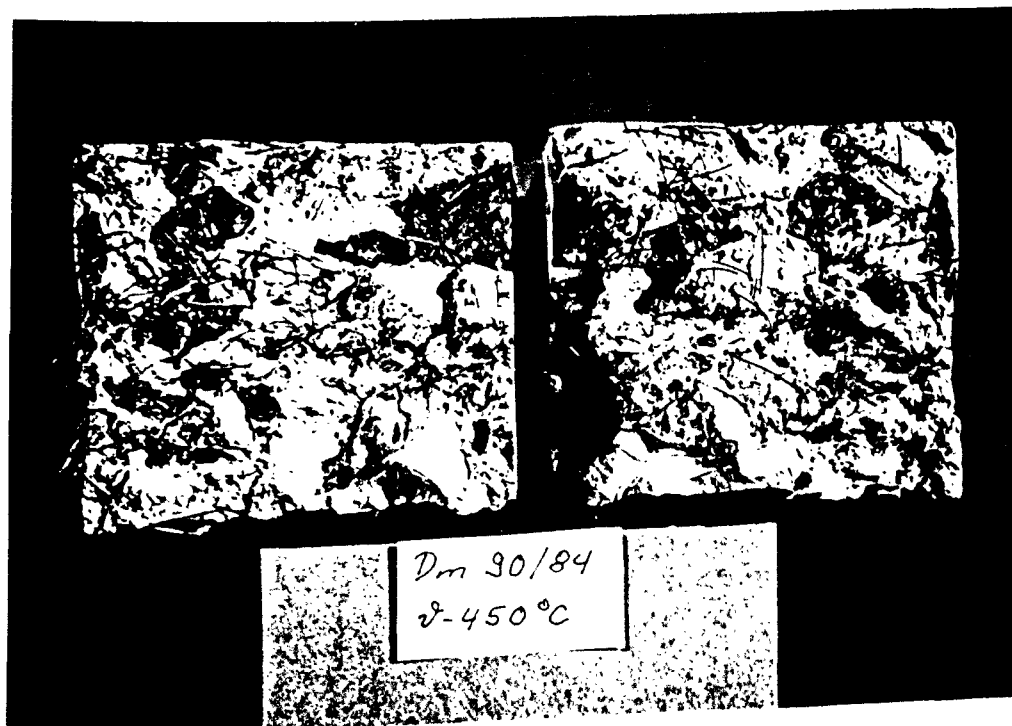


Bild 42: Bruchfläche eines bei 450 °C geprüften, stahlfaserbewehrten Diabas-
betonprobekörpers

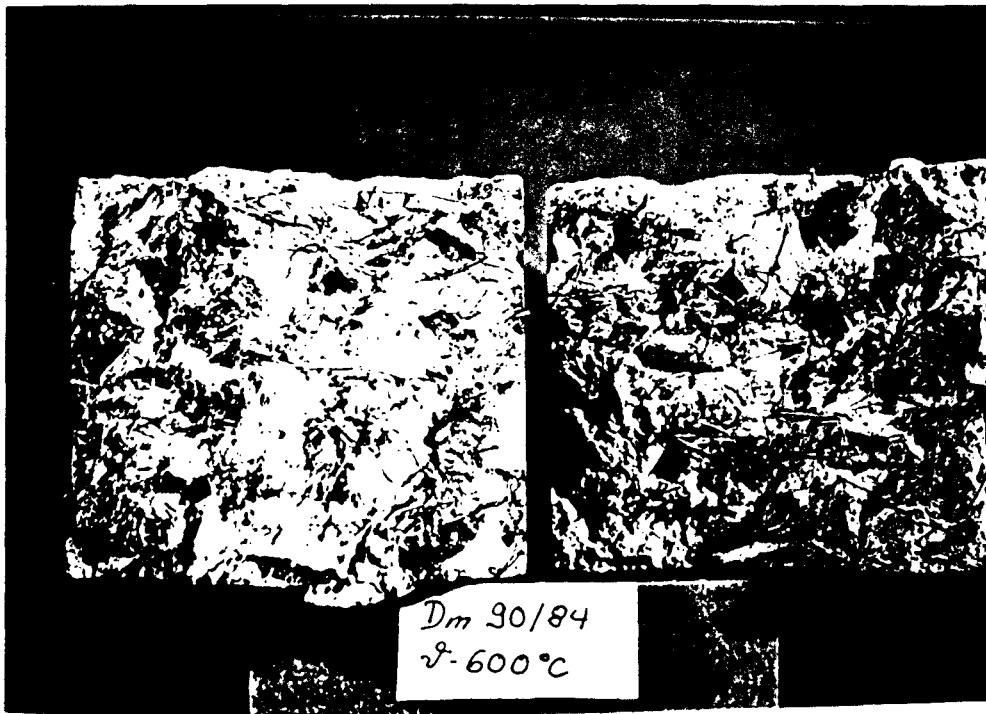


Bild 43: Bruchfläche eines bei 600 °C geprüften, stahlfaserbewehrten Diabasbetonprobekörpers

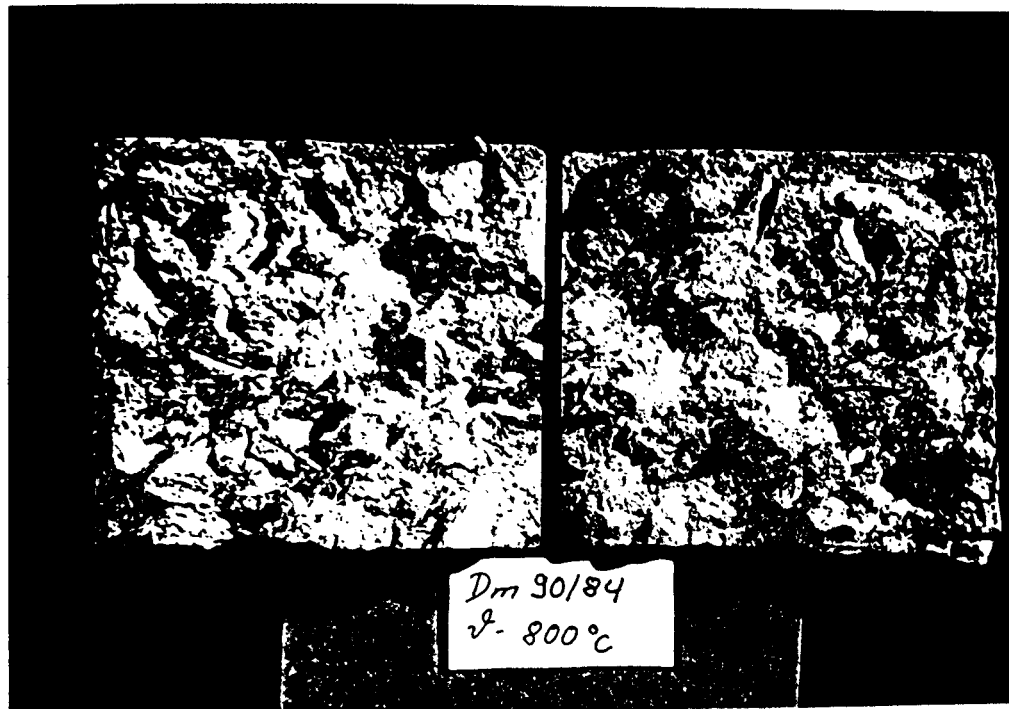


Bild 44: Bruchfläche eines bei 800 °C geprüften, stahlfaserbewehrten Diabasbetonprobekörpers

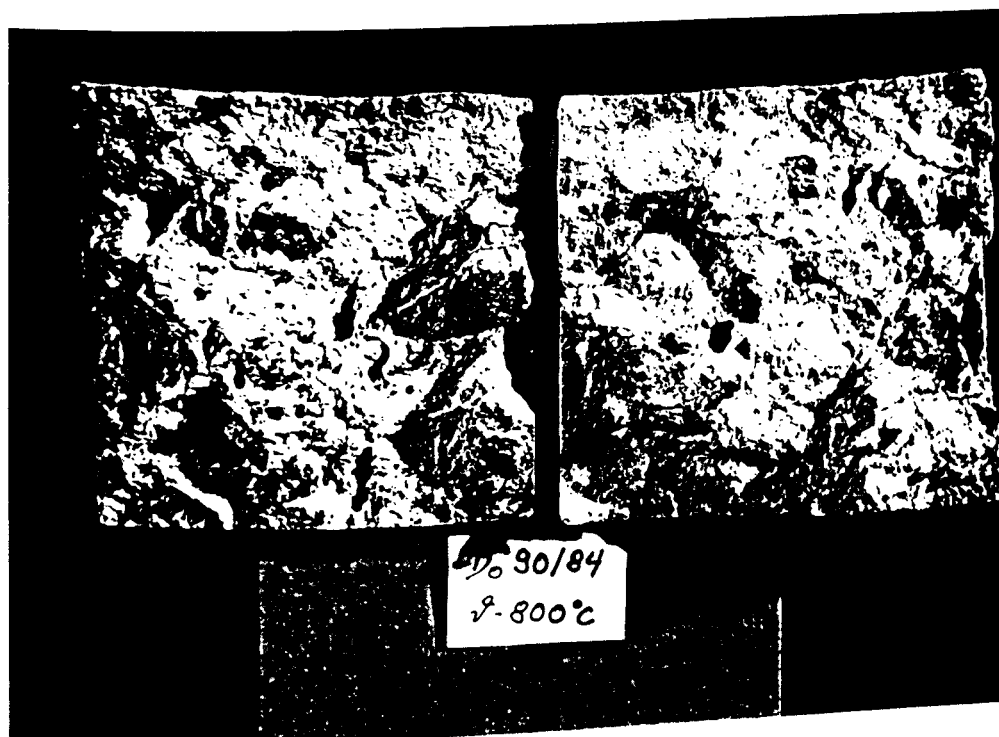


Bild 45: Bruchfläche eines bei 800 °C geprüften, unbewehrten Diabasbetonprobekörpers



Bild 46: Bruchfläche eines bei Raumtemperatur geprüften, stahlfaserbewehrten Kiesbetonprobekörpers

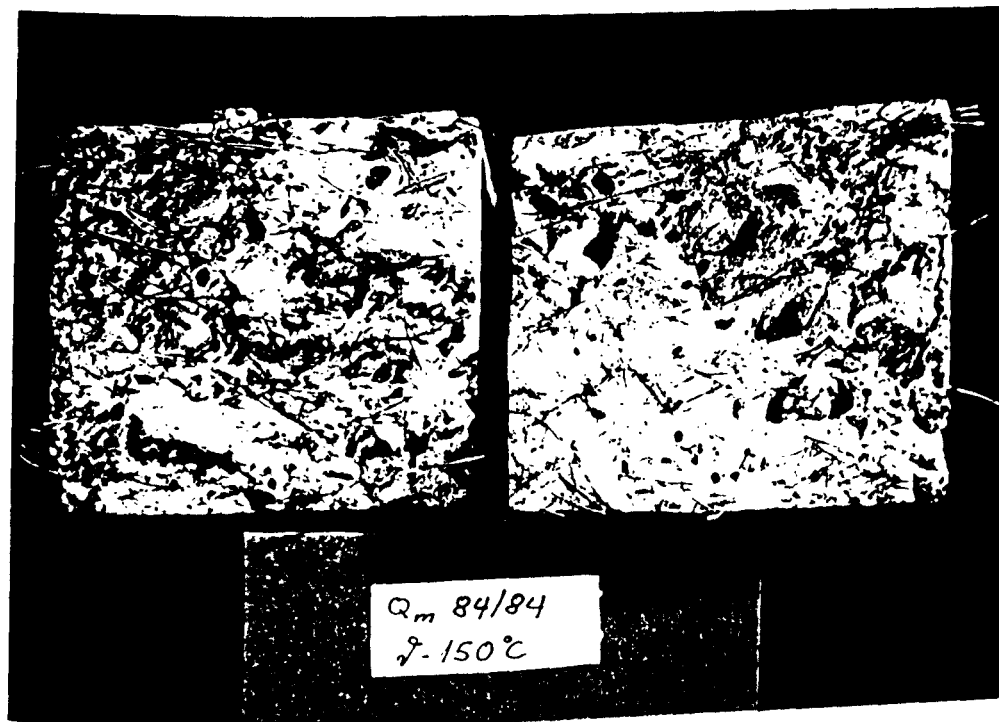


Bild 47: Bruchfläche eines bei 150 °C geprüften, stahlfaserbewehrten Kiesbetonprobekörpers

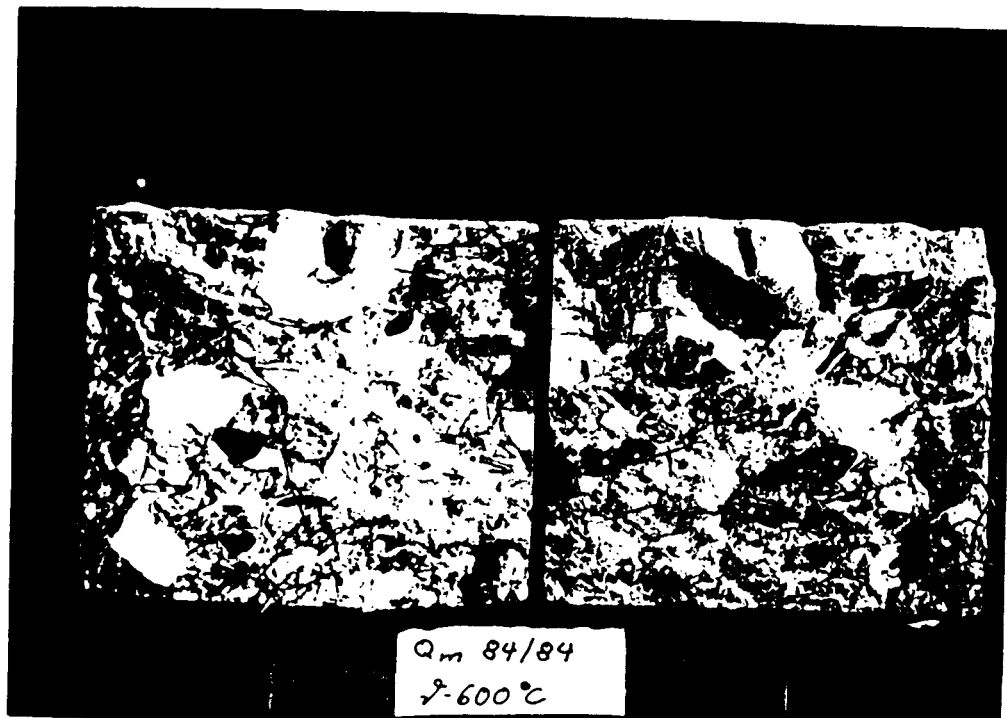


Bild 48: Bruchfläche eines bei 600 °C geprüften, stahlfaserbewehrten Kiesbetonprobekörpers

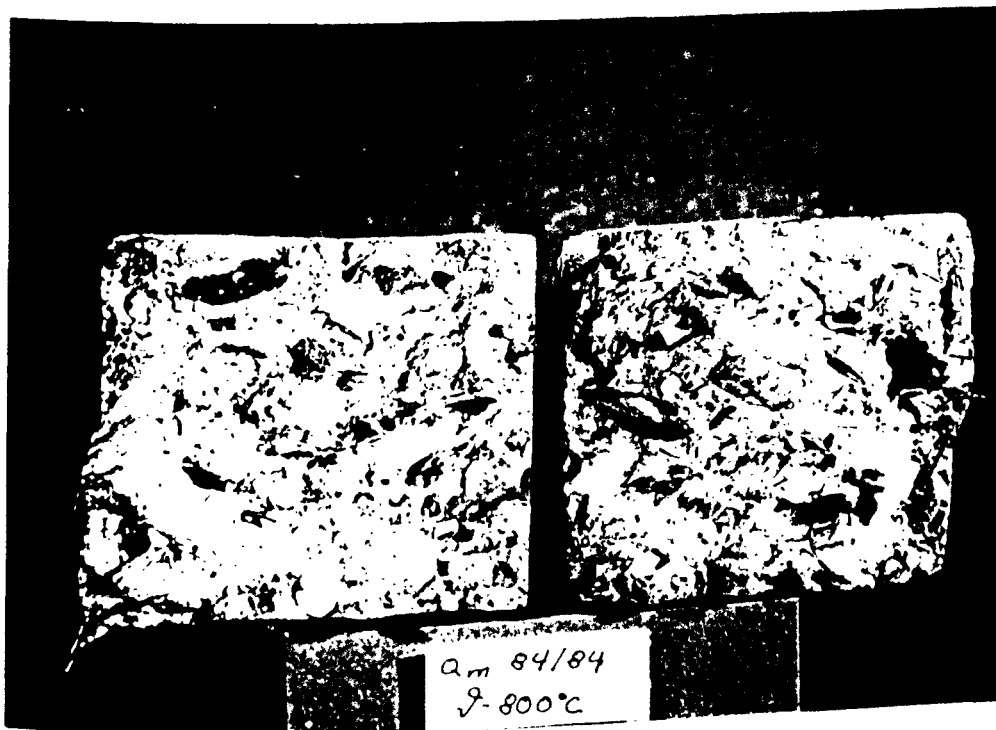


Bild 49: Bruchfläche eines bei 800 °C geprüften, stahlfaserbewehrten Kiesbetonprobekörpers

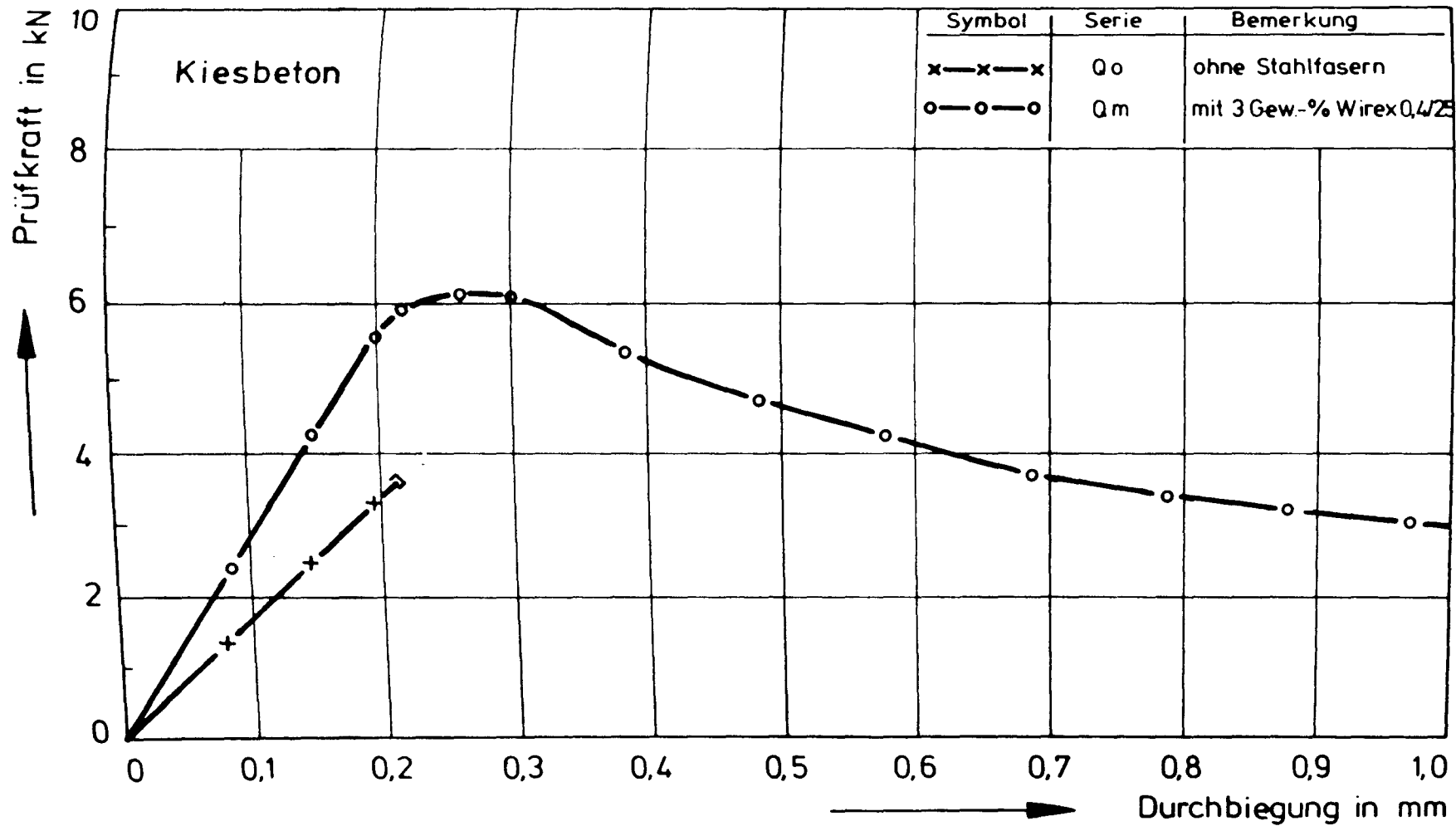


Bild 50: Kraft-Durchbiegungs-Beziehungen von unbewehrtem und stahlfaserbewehrtem Kiesbeton nach Tieftemperaturbeanspruchung

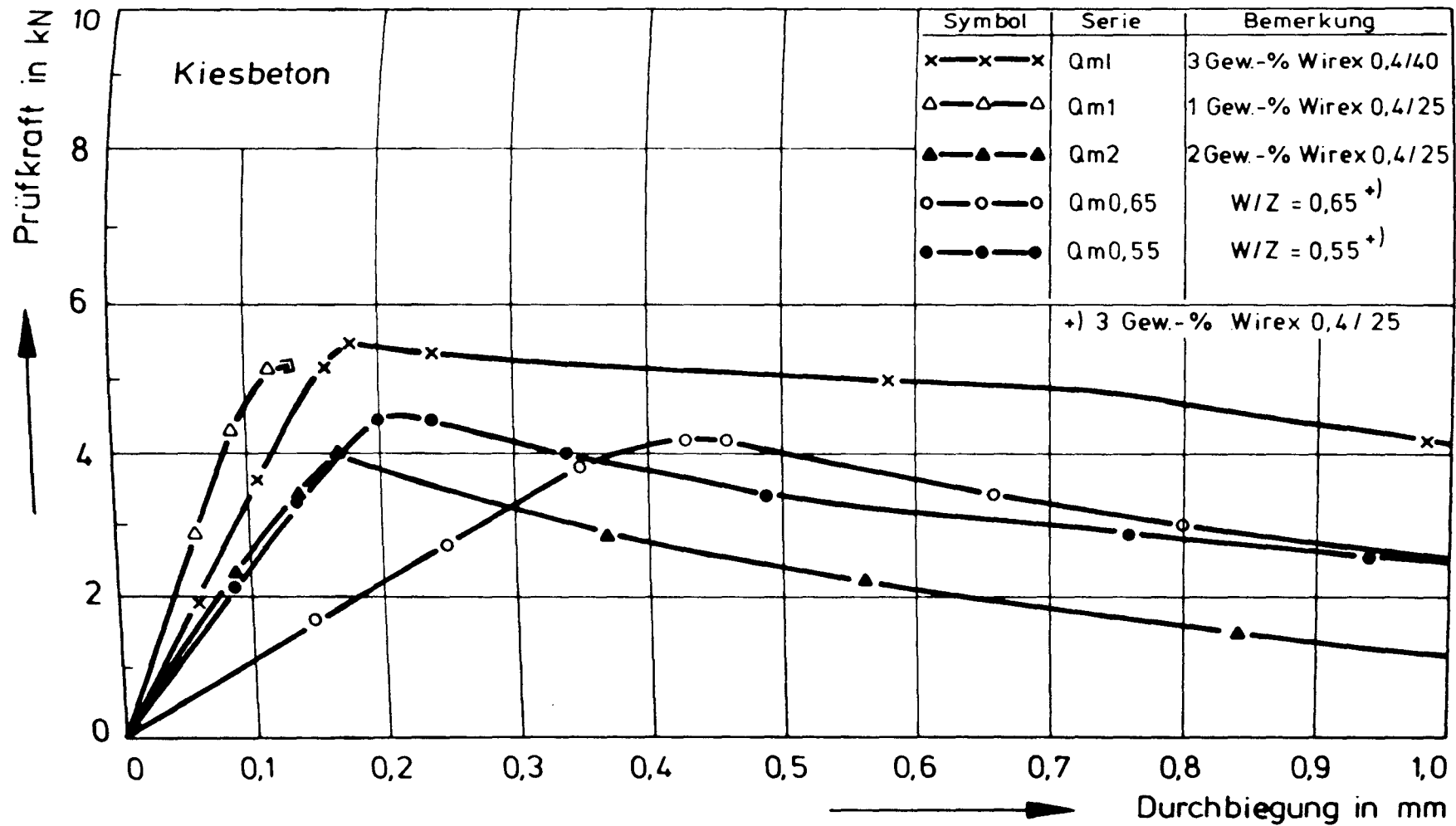


Bild 51: Kraft-Durchbiegungs-Beziehungen von Kiesbeton mit unterschiedlichem W/Z-Wert und unterschiedlichem Stahlfasergehalt nach Tieftemperaturbeanspruchung

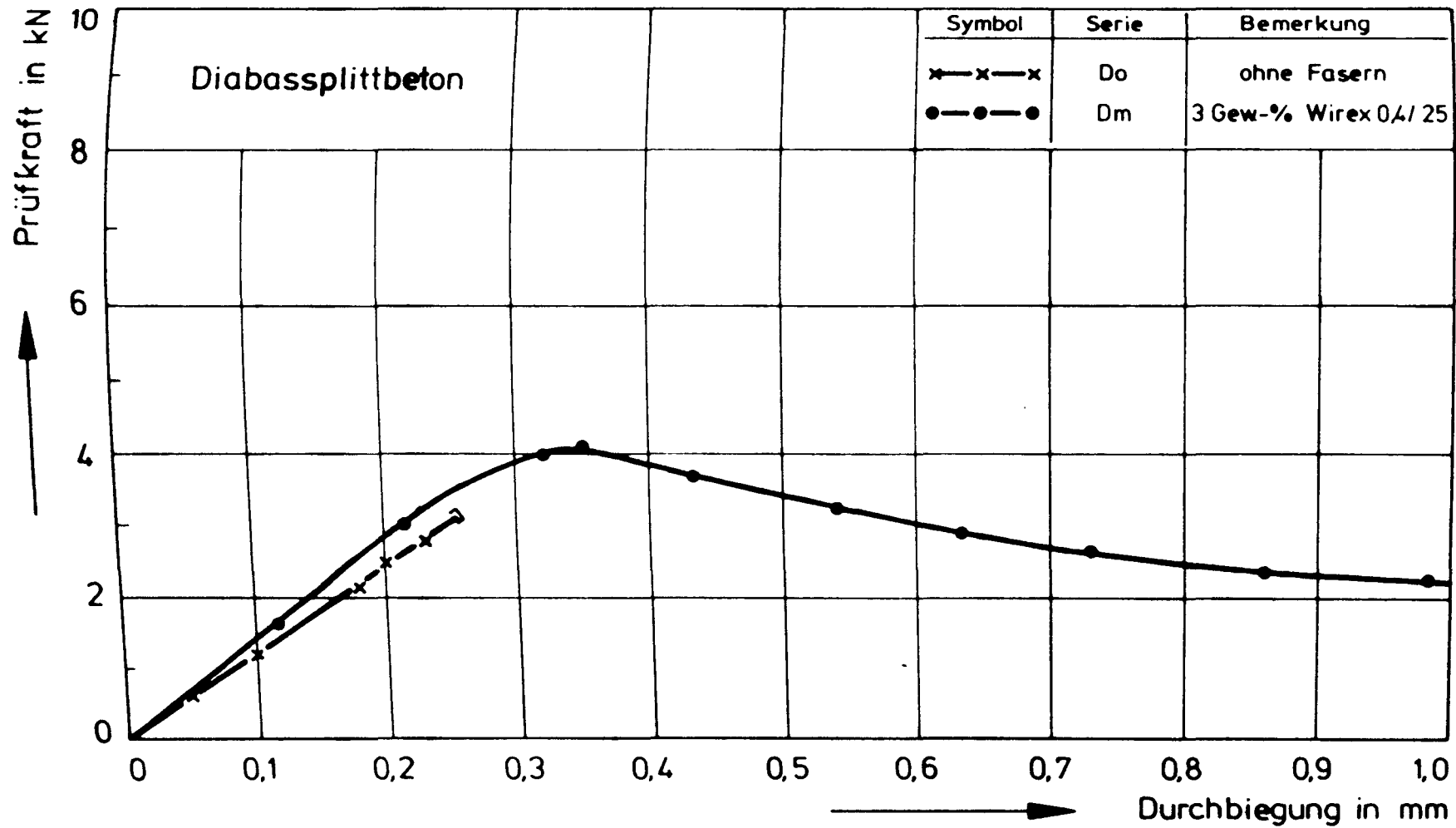


Bild 52: Kraft-Durchbiegungs-Beziehungen von unbewehrtem und stahlfaserbewehrtem Diabassplittbeton nach Tieftemperaturbeanspruchung

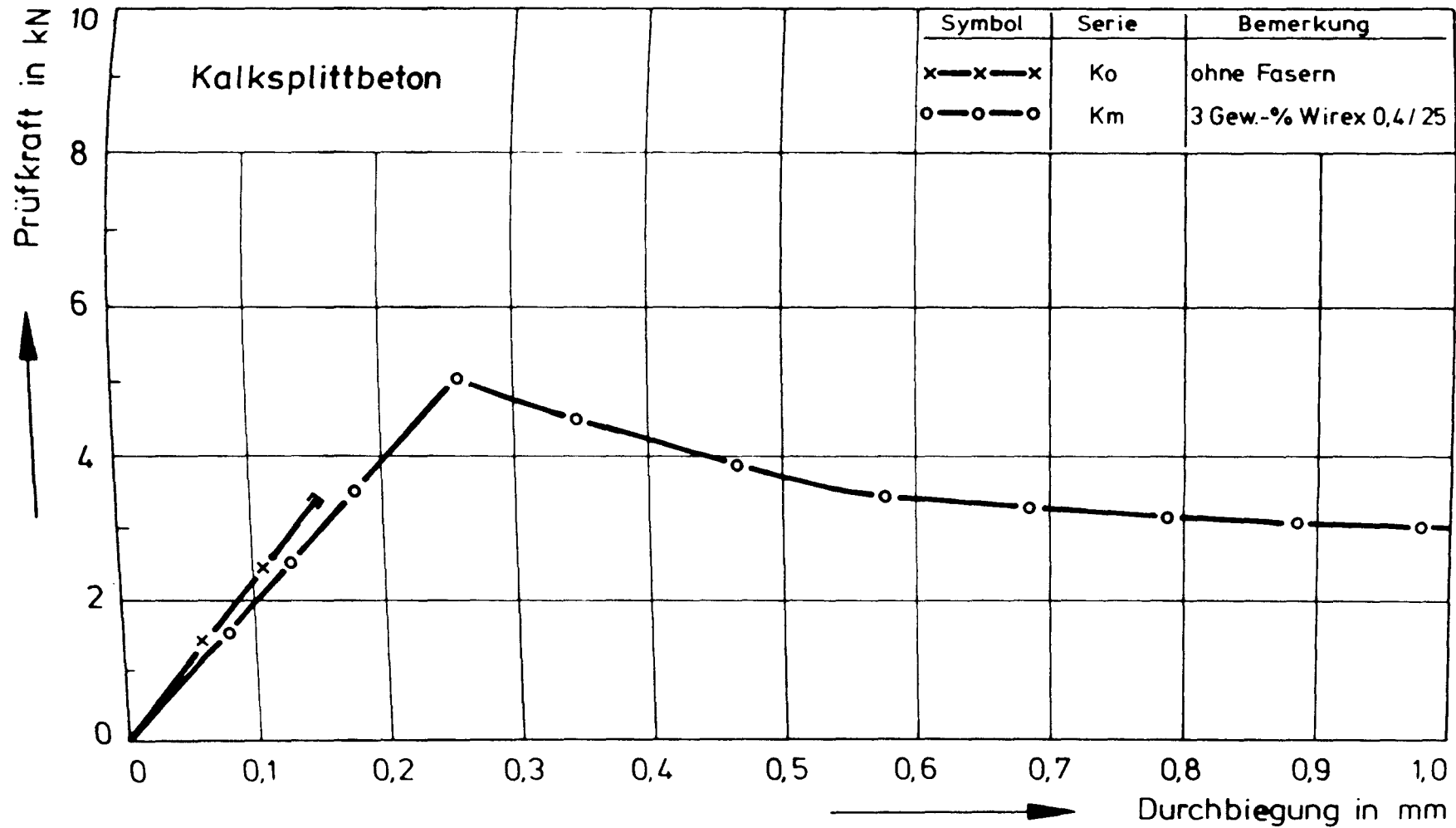


Bild 53: Kraft-Durchbiegungs-Beziehungen von unbewehrtem und stahlfaserbewehrtem Kalksplittbeton nach Tieftemperaturbeanspruchung

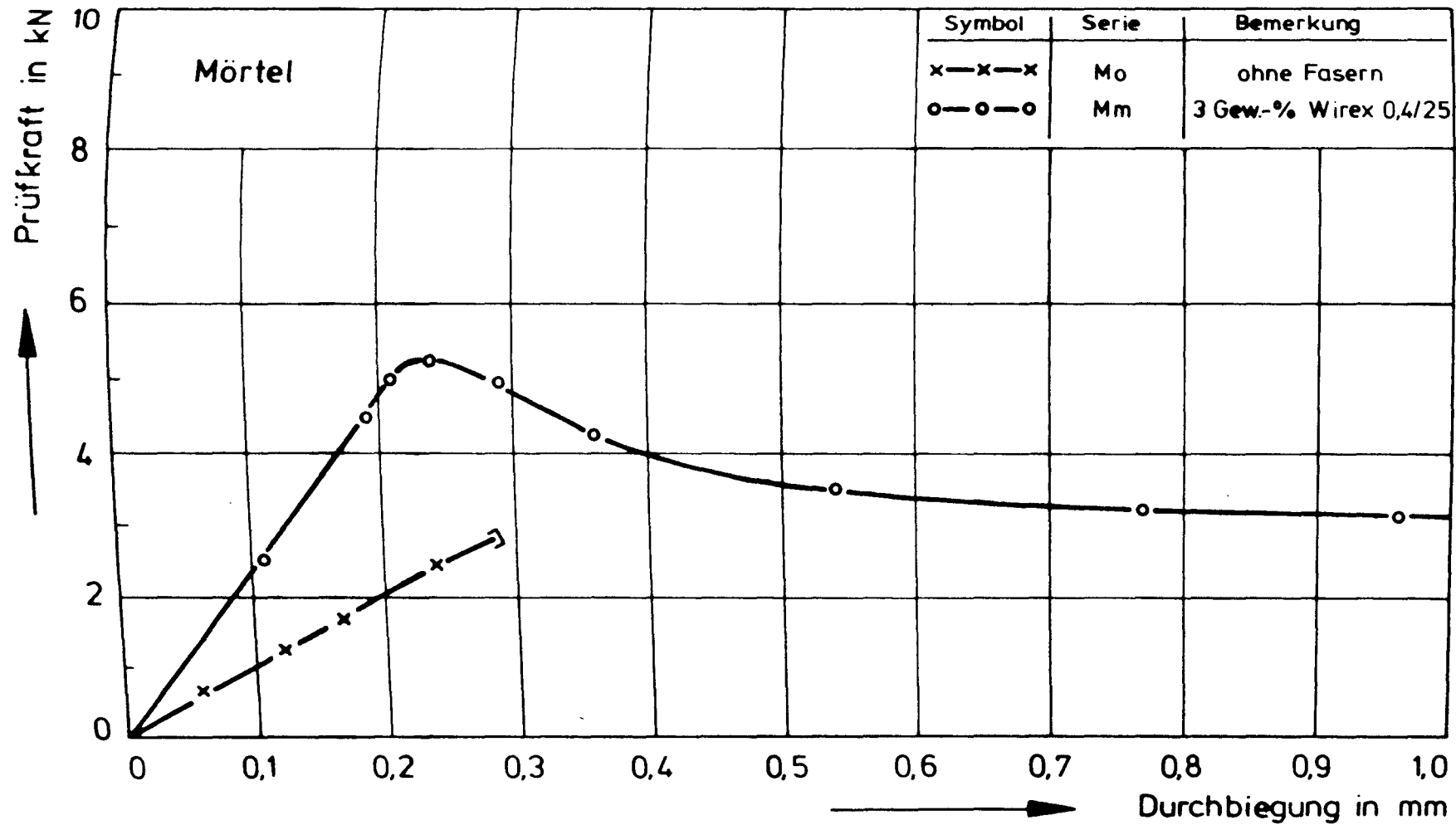


Bild 54: Kraft-Durchbiegungs-Beziehungen von unbewehrtem und von stahlfaserbewehrtem Mörtel nach Tieftemperaturbeanspruchung

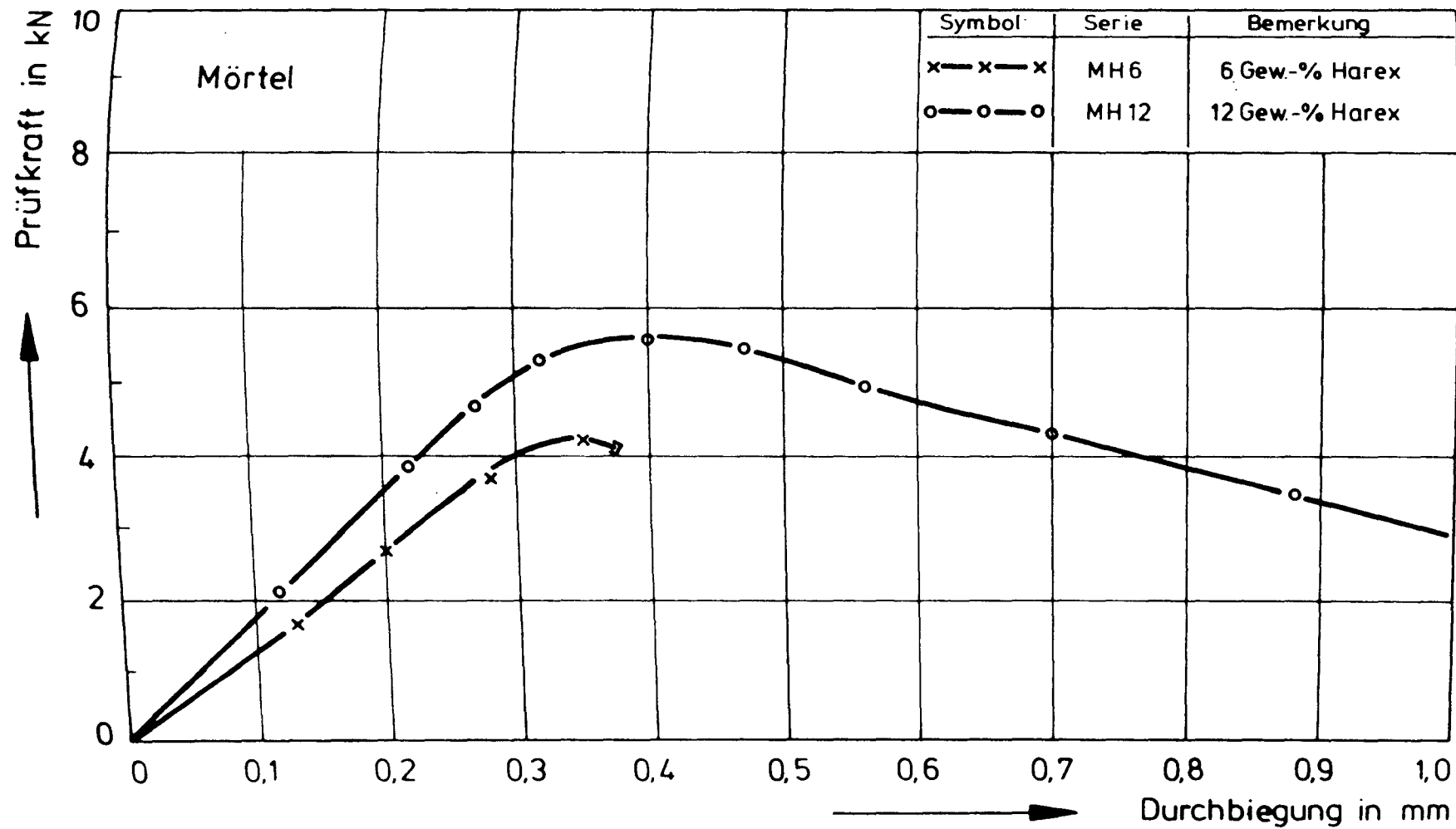


Bild 55: Kraft-Durchbiegungsbeziehungen von Mörtel mit unterschiedlichem Fasergehalt nach Tieftemperaturbeanspruchung

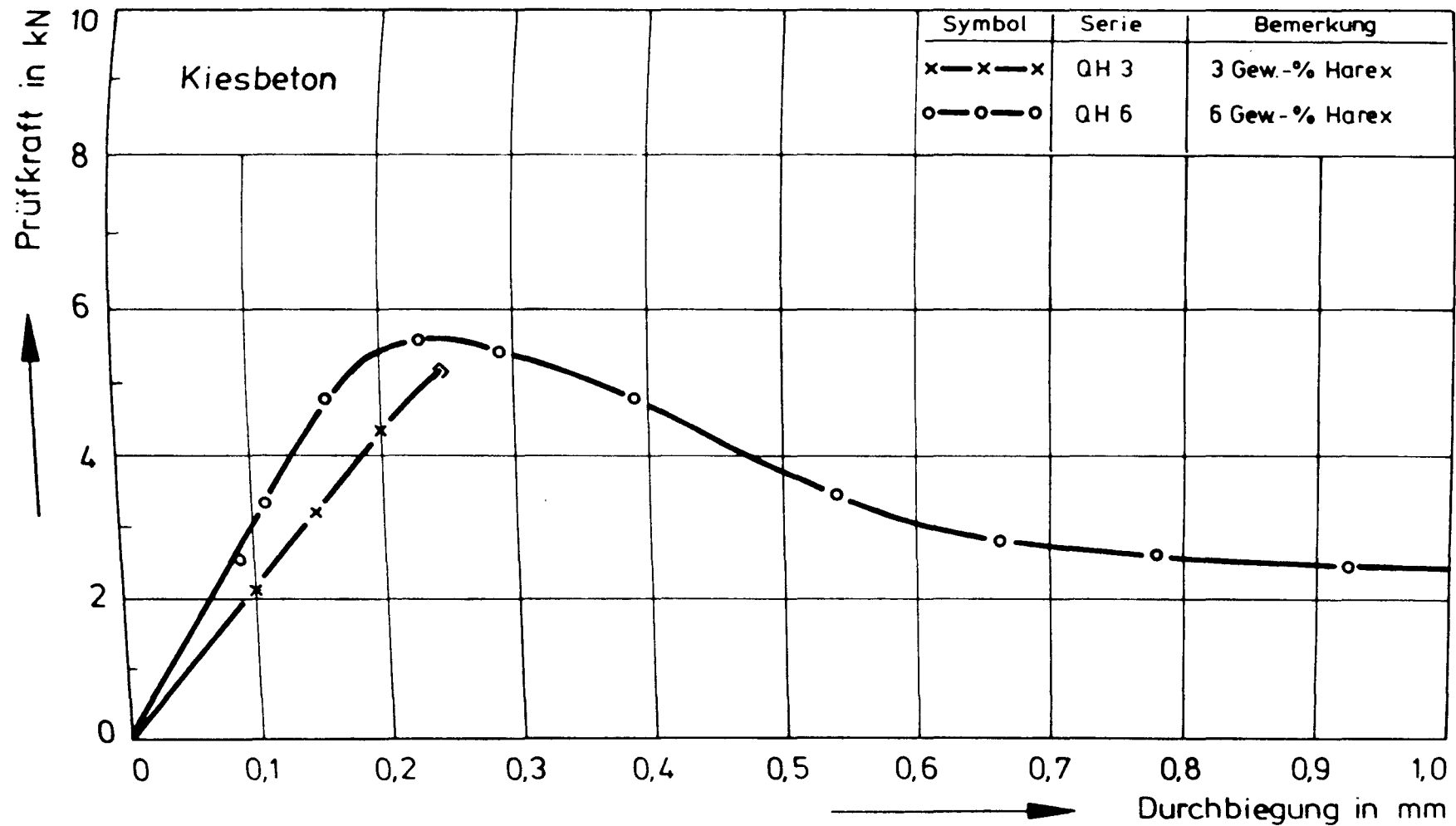


Bild 56: Kraft-Durchbiegungs-Beziehungen von Kiesbeton mit unterschiedlichem Fasergehalt nach Tieftemperaturbeanspruchung

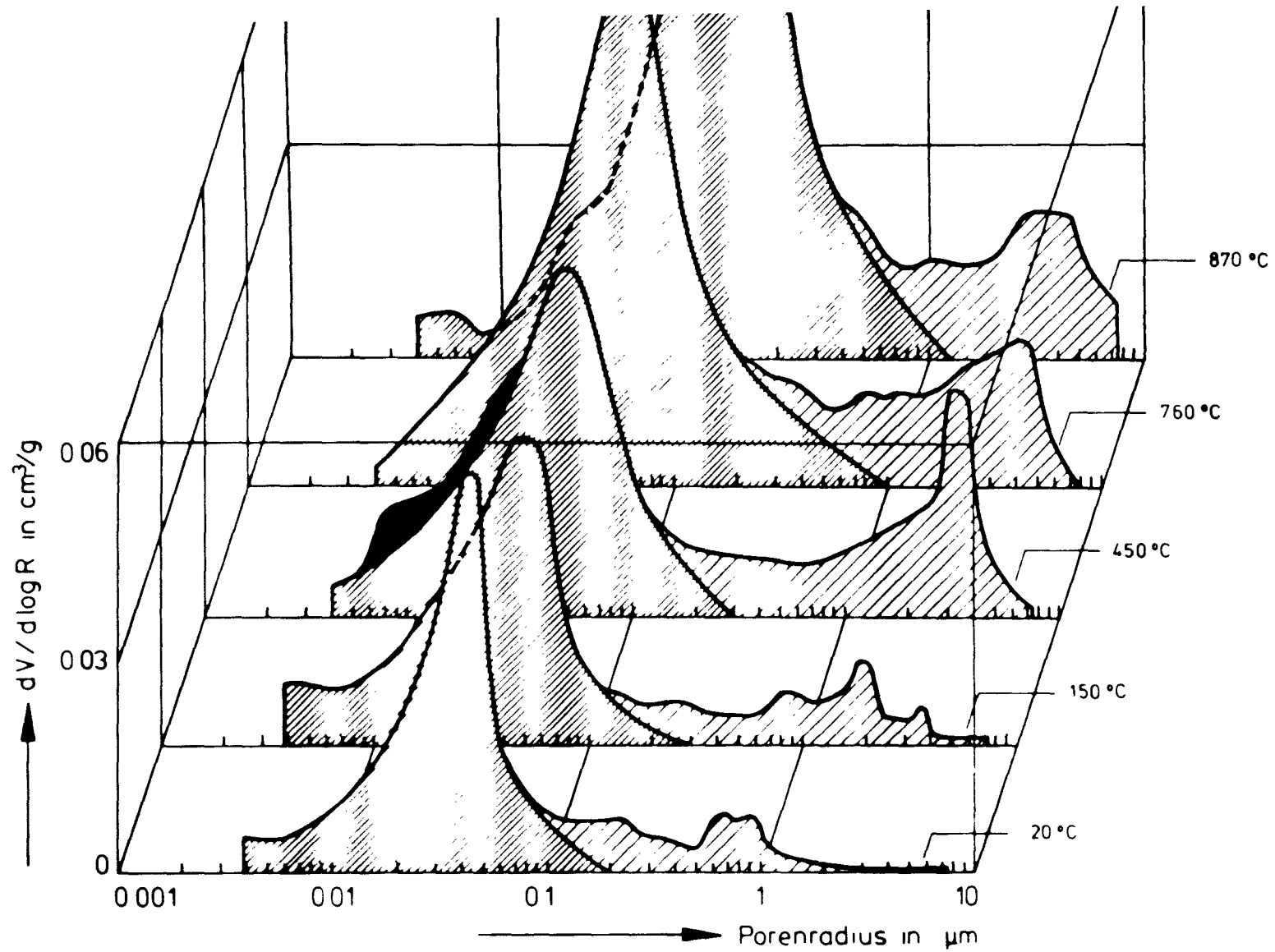


Bild 57: Differentielle Porenradienverteilungen von hochtemperaturbeanspruchten Kiesbetonproben (Serie Qo)

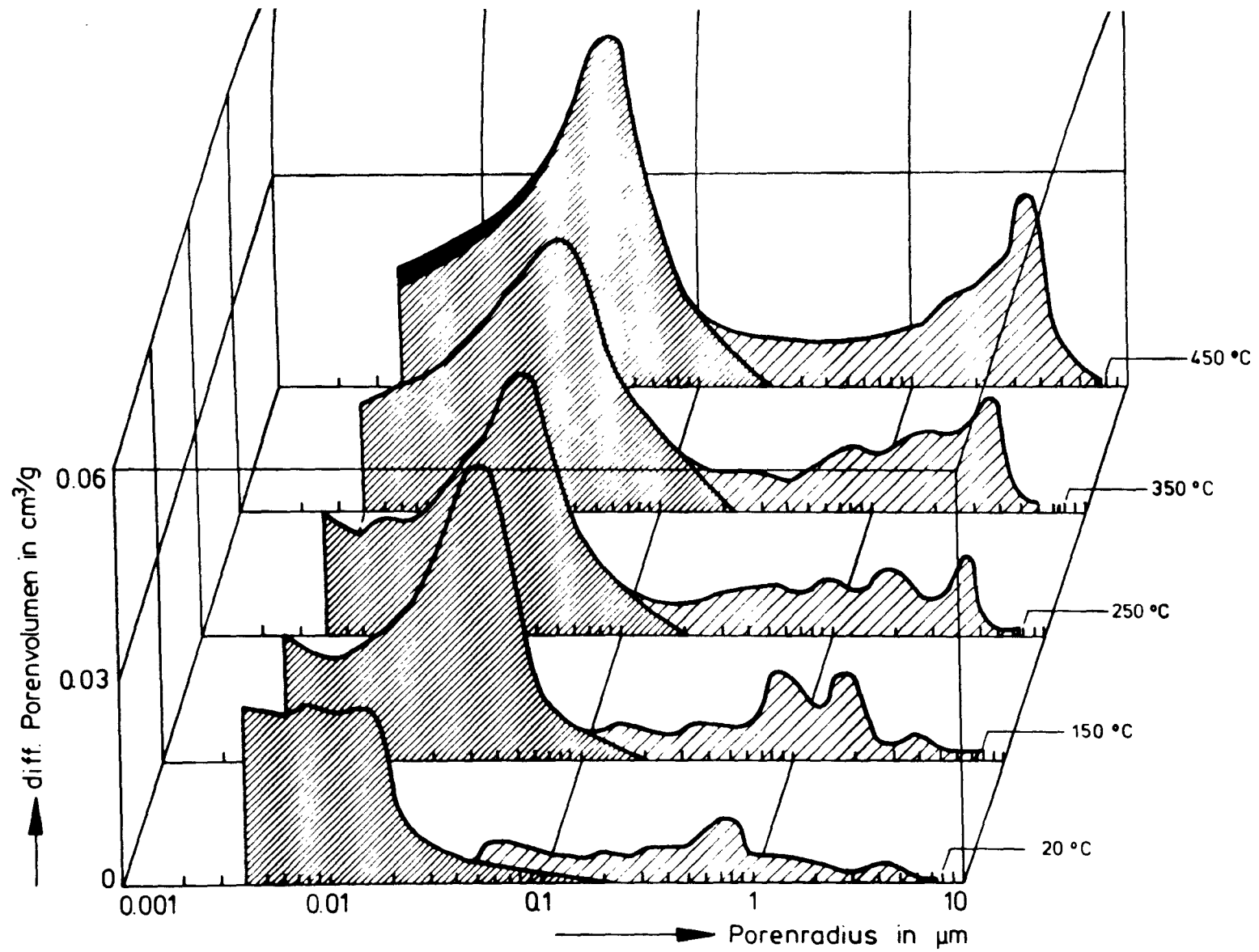


Bild 58: Differentielle Porenradienverteilung von hochtemperaturbeanspruchtem
Stahlfaserbeton (Serie Qmw)

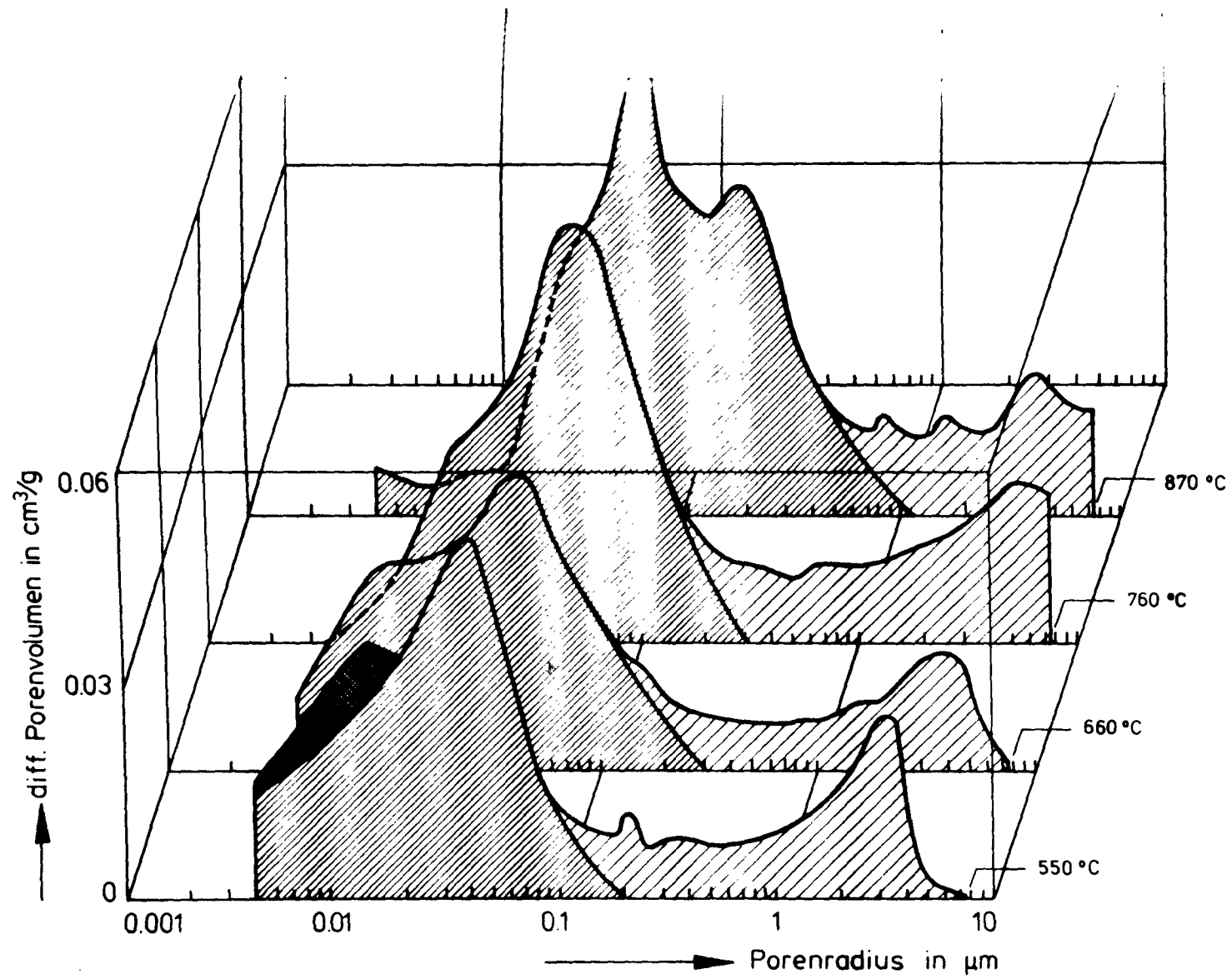


Bild 59: Differentielle Porenradienverteilung von hochtemperaturbeanspruchtem
Stahlfaserbeton (Serie Qmw)

- 98 -

Antragsteller:

Bearb.-Nr.

Lfd.-Nr.

Sachbearbeiter: DR. DIEDERICH

5106/9112

219 / 83

BETONHERSTELLUNG BLATT I

Versuchskörper: ... Vorversuch ... Quarzkies-Mischung

Datum: ... 1. 12. 83

Prüfer: KUHLEMANN

Baustoffe/m ³ Beton in kg				Baustoffe/.59.1, ... 1 ... Misch.		
	Zuschl.	Wasser	WZ-	Zement	Zuschlag	Wasser
Art: PZ 35F						9,65
Werk: Teutonia				17,00 kg	92,35 kg	7,65 kg
Lieferung am: 28.11.83						- 3,20 kg
soll: 340	1847	153	0,45	+ Silica	+ Wirex 25kg	4,45 kg
ist: 336	1824	101	0,57	3,00 kg	Stahlfasern	+ 2,00 "
Trockene Baustoffe kg:					3,57 kg	6,45 kg
Frischbetonrohdichte kg/dm ³				Baustoffanteil/Mischung		
soll:				= 119,00 kg		
ist: 2,350						

Eigenfeuchtigkeit des Betonzuschlages VIENENBURG					
Korngruppe:	0/1	0/2	2/8	8/16	16/32
Lieferung:		3.10.83	3.10.83	3.10.83	
Einwaage g					
Brutto:		3318	3312	3292	
Tara:		1318	1312	1292	
Netto:		2000	2000	2000	
Auswaage g					
Brutto:		3217	3248	3253	
Tara:		1318	1312	1292	
Netto:		1899	1936	1961	
Verlust g:		101	64	39	
Feuchte %:		5,32	3,31	1,99	

Aufteilung des Betonzuschlages					
Korngruppe:	0/1	0/2	2/8	8/16	16/32
Anteil %:		34	26	40	
Zuschlag tr.:		31,40	24,00	36,95	
Feuchtigkeit kg:		1,67	0,79	0,74	

BETONHERSTELLUNG BLATT II

Versuchskörper: Vorversuch... Quarz-Kies Datum: ..1.12.83.....

Frischbetonwerte

1. Ausbreitmaß cm: ohne " 28
2. Verdichtungsmaß v: mit Stabf. 1,34
3. Luftporengehalt %: —

4. Betonverdichtung:

Flasche Ø 26, Ø 38 mm, Tisch, Bohle, Stochern, Stampfen
Verdichtungszeit: 60 Sek.

5. Frischbetonrohddichte kg/dm³: 2,35

Form Nr. :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Form+Beton:	9,54	9,54	9,50	9,50								
Form leer :	1,61	1,60	1,60	1,56								
Beton :	7,93	7,94	7,90	7,94								
kg/dm ³ :	2,35	2,35	2,34	2,35								

Form Nr. :	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Form+Beton:												
Form leer :												
Beton :												
kg/dm ³ :												

Antragsteller:
 Sachbearbeiter

Dr. Bröckner -100-

Bearb.-Nr.:

5106/9112

PRÜFUNG DES BETONKONKRETSCHLAGES

Kornzusammensetzung nach DIN 1045

Betonmischung : Vorversuch Quarzkies-Mischung

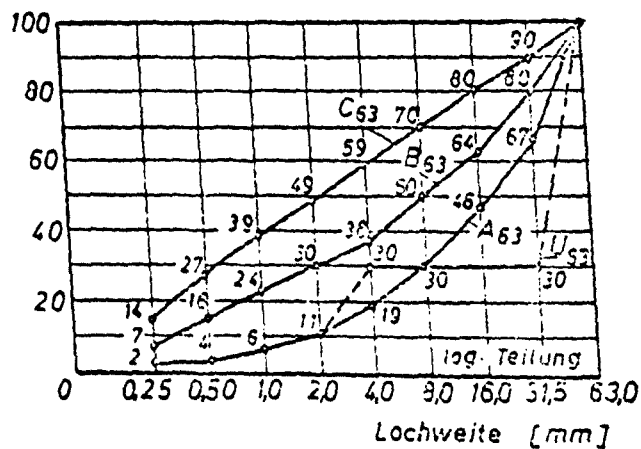
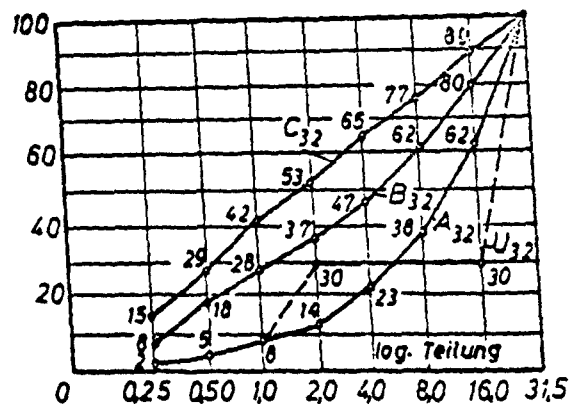
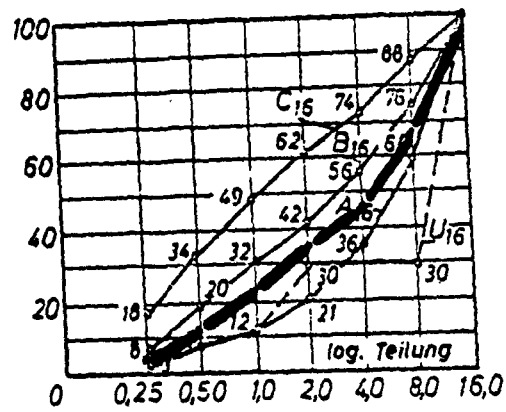
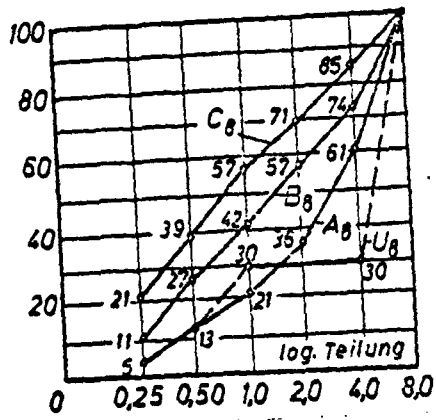
Datum : 01.12.83

Korngruppe Größe Lieferung		Anteile in Gewichts-%								
		Korngruppe mm								
		0/0,25	0,25/0,50	0,5/1	1/2	2/4	4/8	8/16	16/31,5	31,5/63
0/2 Neubauer 03.10.83	A	10,2	25,4	32,2	28,4	3,8				
2/8 Neubauer 03.10.83	B	0,2	-	0,2	6,3	33,3	57,2	2,6	0,2	
8/16 Neubauer 03.10.83	C	0,2	0,1	0,2	0,3	0,5	15,4	74,3	9,0	
	D									
	E									

Zuschlag	Anteile in Gew.-%	Anteile in Gewichts-%								
		Korngruppe mm								
		0/0,25	0,25/0,50	0,5/1	1/2	2/4	4/8	8/16	16/31,5	31,5/63
A	34	3,47	8,64	10,95	9,66	1,29				
B	26	0,05	-	0,05	1,64	8,66	14,87	0,68	0,05	
C	40	0,08	0,04	0,08	0,12	0,20	6,16	29,72	3,60	
D										
E										

Siebrückstand :	3,60	8,68	11,08	11,42	10,15	21,03	30,10	3,65		
Siebdurchgang :	3,60	12,28	23,36	34,78	44,93	65,96	94,35	100,00		

Schaubild siehe Rückseite



Antragsteller:

Bearb.-Nr.

Lfd.-Nr.

Sachbearbeiter: DR. DIEDERICHS

5106/9112

221/83

BETONHERSTELLUNG BLATT I

Versuchskörper: 4 B.: 15x6x70, 4 Z. Ø8/30, + 4 W. 15/15/15

DIABAS-BETON

Datum: ..5.12.83.....

Prüfer: ..KUHLEMANN.....

Baustoffe/m³ Beton in kg				Baustoffe/.50.1,...1...Misch.		
	Zuschl.	Wasser	WZ-	Zement	Zuschlag	Wasser
Art: PZ 35F	1854	200	WZ (+ SF) = 0,50	17,00 kg	91,85 kg	10,00 kg - 0,35 E
Werk: Tentonia						9,65 kg
Lieferung am: 28.11.83				3,00 kg	+ 3,60 kg	
soll: 340 ⁺⁶⁰ ₋₅₀				Silica fume	Stahlfasern	Verflüssig. ov Addition
ist:					Wirex 25/40	0,60 kg
Trockene Baustoffe kg:						

Frischbetonrohichte kg/dm³	Baustoffanteil/Mischung
soll: ist:	= kg

Eigenfeuchtigkeit des Betonzuschlages Diabas					
Korngruppe:	1-2	0/2	8/11	11/16	16/32
Lieferung:					
Einwaage g					
Brutto:					
Tara:					
Netto:					
Auswaage g					
Brutto:	Trocken			Trocken	
Tara:					
Netto:					
Verlust g:					
Feuchte %:					

Aufteilung des Betonzuschlages Diabas					
Korngruppe:	1-2	0/2	8/11	11/16	16/32
Anteil %:	15	26	25	40	
Zuschlag tr.:	13,05	10,54	23,18	37,08	
Feuchtigk. kg:	-	-	+ 0,35	-	
Einwaage g	13,05	10,54	23,53	37,08	

BETONHERSTELLUNG BLATT II

Versuchskörper: Diabas-Beton 40+42+4W Datum: 5.12.83

Frischbetonwerte ohne Faser mit Faser

1. Ausbreitmaß cm: 37,0 -
2. Verdichtungsmaß v: - 1,38
3. Luftporengehalt %: - -

4. Betonverdichtung:

Flasche Ø 26, Ø 38 mm, Tisch, Bohle, Stochern, Stampfen

Verdichtungszeit: Sek.

5. Frischbetonrohddichte kg/dm³: ... 2,475 ...

Form Nr. :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Form+Beton:	10,00	9,92	9,93	9,89								
Form leer :	1,61	1,60	1,60	1,56								
Beton :	8,39	8,32	8,33	8,33								
kg/dm ³ :	2,49	2,47	2,47	2,47								

Form Nr. :	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Form+Beton:												
Form leer :												
Beton :												
kg/dm ³ :												

Hersteller:

Bearbeiter: DR. DIEDERICHS

Bearb.-Nr.

5106/9112

Prüf.-Nr.

225/83

BETONHERSTELLUNG BLATT I

Versuchskörper: ..501.. Kalksteinbeton..K.S.I.....

Datum: ..8.12.83.....

Prüfer:HOFFMANN.....

Baustoffe/m³ Beton in kg

Baustoffe/.501,.1...Misch.

	Zuschl.	Wasser	WZ-	Zement	Zuschlag	Wasser
Art: P 2 35 F						
Werk: Teutonia				17,00 kg	94,20 kg	10,00 kg - 1,04 kg 8,96 kg
Lieferung am: 28.11.83				+ 3,00 kg Silica Fume	+ 3,65 kg Stahlfasern Wirex 25/40	BV-Sica 0,60 kg
soll: 340 + 60 Silica 1884	200					
ist:						
Trockene Baustoffe kg:						

Frischbetonrohichte kg/dm³
soll: ist:

Baustoffanteil/Mischung
= kg

Eigenfeuchtigkeit des Betonzuschlages

Kalkstein - Splitt

Zorngruppe:	0/1	Brechsand 0/2	8/11	11/16	16/32
Lieferung:					
Einwaage g Brutto:		3278			
Tara:		1278			
Netto:		2000			
Auswaage g Brutto:		3217			
Tara:		1278			
Netto:		1939			
Verlust g:		61			
Feuchte %:		3,15			

Trocken!

Anfeuchtung des Betonzuschlages

Kalkstein - Splitt

Zorngruppe:	0/1	Brechsand 0/2	8/11	11/16	16/32
Anfeucht g:		35	25	40	
Netto:		32,97	23,55	37,68	

BETONHERSTELLUNG BLATT II

Versuchskörper: ..Kalkstein-Beton.KST Datum: ..8.12.83.....

Frischbetonwerte

1. Ausbreitmaß cm: 53,9 ohne Fasern
2. Verdichtungsmaß v: 1,08 mit Fasern
3. Luftporengehalt %: /
4. Betonverdichtung: Würfel
Flasche Ø 26, Ø 38 mm, Tisch, Bohle, Stochern, Stampfen
Verdichtungszeit: 30. sek.
5. Frischbetonrohichte kg/dm³: ...2,47.....

Form Nr. :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Form+Beton:	9,89	9,96	9,92	9,88								
Form leer :	1,61	1,60	1,60	1,56								
Beton :	8,28	8,36	8,32	8,32								
kg/dm ³ :	2,45	2,48	2,47	2,47								

Form Nr. :	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Form+Beton:												
Form leer :												
Beton :												
kg/dm ³ :												

Antragsteller:

- 106 -

Bearb.-Nr.

Lfd.-Nr.

Sachbearbeiter:

DR. DIEDERIG

6220/9067

E4 / E4

BETONHERSTELLUNG BLATT I

Versuchskörper: Quarz Kiesbeton (mit und ohne Fasern) 2x4 Würfel
2x3 Balken

Datum: 17.05.84

Prüfer: ... HOFFMANN

Baustoffe/m³ Beton in kg

2x40L Baustoffe/... 1, ... 1... Misch.

	Zuschl.	Wasser	WZ-	Zement	Zuschlag	Wasser
Art: PZ 35F						
Verk: Teutonia				27,20kg	147,70 kg	12,20kg - 4,41 E 7,79 kg + 1,00 8,79 Kg
Lieferung am: 2.05.84						
soll: 340	1847	153	0,45			
ist:			0,485			
Trockene Baustoffe kg:	+ BV 19% v. Z. Gem 3,4 kg			f. 40L = 2,856 kg		Stahlfasern: Wirex 25/40 BV = 19% v. Z. 0,270 kg 0,270 kg

Frischbetonrohddichte kg/dm³

soll: ist: 2,40 OF 2,40 u.F.

Baustoffanteil/Mischung
= kg

Eigenfeuchtigkeit des Betonzuschlages VIENENBURG

Korngruppe:	0/1	0/2	2/8	8/16	16/32
Lieferung:		2.3.84	16.4.84	12.12.83	
Einwaage g Brutto:		3292	3312	3318	
Tara:		1292	1312	1318	
Netto:		2000	2000	2000	
Auswaage g Brutto:		3187	3264	3295	
Tara:		1292	1312	1318	
Netto:		1895	1952	1977	
Verlust g:		105	48	23	
Feuchte %:		5,54	2,46	1,16	

Aufteilung des Betonzuschlages

Korngruppe:	0/1	0/2	2/8	8/16	16/32
Anteil %:		34	26	40	
Zuschlag tr.:		50,20	38,40	59,10	
Feuchtigk. kg:		2,78	0,94	0,69	

BETONHERSTELLUNG BLATT II

Versuchskörper: 2x4 Würfel + 2x3 Balken.. Datum: ... 17.05.84

<u>Frischbetonwerte</u>	<u>ohne Fasern</u>	<u>mit Fasern</u>
X1. <u>Ausbreitmaß</u> cm:	30,0	—
X2. <u>Verdichtungsmaß</u> v:	1,19	1,39
X3. <u>Luftporengehalt</u> %:	2,3	—

4. Betonverdichtung:

Flasche Ø 26, Ø 38 mm, Tisch, Bohle, Stochern, Stampfen

Verdichtungszeit: 60 Sek.

5. Frischbetonrohddichte kg/dm³: .. 2,40 .. | .. 2,40 ..
o. F. | m. F.

	<u>ohne Fasern</u>				<u>mit Fasern</u>							
<u>Form Nr.</u> :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<u>Form+Beton</u> :	9,74	9,72	9,75	9,71	9,76	9,69	9,73	9,68				
<u>Form leer</u> :	1,62	1,64	1,63	1,66	1,63	1,62	1,61	1,60				
<u>Beton</u> :	8,12	8,08	8,12	8,05	8,13	8,07	8,12	8,08				
<u>kg/dm³</u> :	2,41	2,39	2,41	2,39	2,41	2,39	2,41	2,39				

<u>Form Nr.</u> :	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
<u>Form+Beton</u> :												
<u>Form leer</u> :												
<u>Beton</u> :												
<u>kg/dm³</u> :												

Antragsteller:

- 108 -

Bearb.-Nr.

Lfd.-Nr.

Sachbearbeiter:

DR. DIEDERICHS

6225/9067

90/84

BETONHERSTELLUNG BLATT I

Versuchskörper: 6 Balken Diabas-Beton. (mit + ohne Fasern)

Datum: ... 28.05.84

Prüfer: HOFFMANN

Baustoffe/m³ Beton in kg

Baustoffe/.45.1..2....Misch.

	Zuschl.	Wasser	WZ-	Zement	Zuschlag	Wasser
Art: P235 F						
Werk: Teutonia				13,60 kg	74,16 kg	6,12 kg - 2,04 E
Lieferung am: 2.05.84					1.M	4,08 kg + 1,00 "
soll: 345	1854	153	0,45		2.M	5,08 kg + 1,00 "
ist:					Wirex-Stahlfaser	6,08 kg
Trockene Baustoffe kg:				2.Mischung	2,97 kg	1.M = 2,49 2.M = 2,72
Frischbetonrohddichte kg/dm ³						
soll:						
ist:						
Baustoffanteil/Mischung				kg		

Eigenfeuchtigkeit des Betonzuschlages DIABAS-ZUSCHLAG

Korngruppe:	0/1	0/2	8/11	11/16	16/32
Lieferung:					
Einwaage g					
Brutto:		3278	3292		
Tara:		1278	1292		
Netto:		2000	2000		
Auswaage g					
Brutto:		3149	3247	Trocken!	
Tara:		1278	1292		
Netto:		1871	1955		
Verlust g:		129	45		
Feuchte %:		6,89	2,30		

Aufteilung des Betonzuschlages

Korngruppe:	0/1	0/2	8/11	11/16	16/32
Anteil %:		30	30	40	
Zuschlag tr.:		22,25	22,25	29,66	
Feuchtigkeit:		1,53	0,51	2,91	

BETONHERSTELLUNG BLATT II

Versuchskörper: 6 Balken Diabas-Beton.... Datum: 28.05.84.....

Frishbetonwerte	1.M o. Fasern	2.M mit Fasern	2.M o. Fasern
1. <u>Ausbreitmaß</u> cm:	/	/	/
2. <u>Verdichtungsmaß</u> v:	1,40	1,30	/
3. <u>Luftporengehalt</u> %:	1,5	/	/

4. Betonverdichtung:

Flasche \varnothing 26, \varnothing 38 mm, Tisch, Bohle, Stochern, Stampfen

Verdichtungszeit: 60 Sek.

5. Frishbetonrohddichte kg/dm³: 2,48... 2,525
ohne Fasern mit Fasern

	ohne Fasern				mit Fasern							
Form Nr. :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Form+Beton:	10,01	9,94	9,95	9,96	10,17	10,12	10,33	10,11				
Form leer :	1,61	1,60	1,60	1,56	1,66	1,60	1,80	1,57				
Beton :	8,40	8,34	8,35	8,40	8,51	8,52	8,53	8,54				
kg/dm ³ :	2,49	2,47	2,47	2,49	2,52	2,52	2,53	2,53				

Form Nr. :	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Form+Beton:												
Form leer :												
Beton :												
kg/dm ³ :												

Antragsteller:

- 110 -

Bearb.-Nr.

Lfd.-Nr.

Sachbearbeiter: DR. DIEDERICHS

6220/9067

105/84

BETONHERSTELLUNG BLATT I

Versuchskörper: Quarzkiesbeton m. 1. Bezu. 2% Fasern (7)

Datum: 27.6.84

Prüfer: HOFFMANN

Baustoffe/m³ Beton in kg

Baustoffe/.40.1..2...Misch.

	Zuschl.	Wasser	WZ-	Zement	Zuschlag	Wasser
Art: P235F						
Verk: Teutonia				13,60 kg	73,85 kg	6,80 kg -2,45 E 4,35 kg
Lieferung am: 22.6.84						
soll:						
ist:						
Trockene Baustoffe kg:				Wirex 0,25/40	1. M 1% 2. M 2%	je 0,270 kg 0,950 kg 1,900 kg

Frischbetonrohddichte kg/dm³
soll: ist:Baustoffanteil/Mischung
= kg

Eigenfeuchtigkeit des Betonzuschlages VIENENBURG

Korngruppe:	0/1	0/2	2/8	8/16	16/32
Lieferung:		2.03.84	8.06.84	12.12.83	
Einwaage g					
Brutto:		3292	3278	3312	
Tara:		1292	1278	1312	
Netto:		2000	2000	2000	
Auswaage g					
Brutto:		3186	3230	3274	
Tara:		1292	1278	1312	
Netto:		1894	1952	1962	
Verlust g:		106	48	38	
Feuchte %:		5,60	2,46	1,94	

Aufteilung des Betonzuschlages

Korngruppe:	0/1	0/2	2/8	8/16	16/32
Anteil %:		34	26	40	
Zuschlag tr.:		25,10	19,20	29,55	
Feuchtigkeit:		1,41	0,47	0,57	
				30,12	

BETONHERSTELLUNG BLATT II

Versuchskörper: Quarzkiabeton m. 1 und 2% Fasern Datum: ... 27.06.84

Frischbetonwerte	1. M 1% F		2. M 2% F	
	o. F.	m. F.	o. F.	m. F.
1. Ausbreitmaß cm:	35,6	X	35,0	X
2. Verdichtungsmaß v:	1,14	1,23	1,16	1,29
3. Luftporengehalt %:	1,8	X	1,8	X

4. Betonverdichtung:

Flasche \varnothing 26, \varnothing 38 mm, Tisch, Bohle, Stochern, Stampfen

Verdichtungszeit: 60 ... Sek.

5. Frishbetonrohdichte kg/dm³: 2,41 | 2,43
1. M. | 2. M.

	1. Mischung 1% F				2. Mischung 2% Fasern							
Form Nr. :	1	2	3	4	5	6	17	18	9	10	11	12
Form+Beton:	9,72	9,77	9,76	9,80	9,83	9,81	9,84	9,80				
Form leer :	1,62	1,64	1,63	1,66	1,63	1,62	1,63	1,56				
Beton :	8,10	8,13	8,13	8,14	8,20	8,19	8,21	8,24				
kg/dm ³ :	2,40	2,41	2,41	2,41	2,43	2,43	2,43	2,44				

Form Nr. :	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Form+Beton:												
Form leer :												
Beton :												
kg/dm ³ :												

Antragsteller:

-112-

Bearb.-Nr.

Ord.-Nr.

Gehbearbeiter: DR. DIEDERICHS

6220/5067

113/84

BETONHERSTELLUNG BLATT I

Versuchskörper: Quarzkiesbeton m. langen geraden und Winkelhakenfasern

Datum: 11.07.84

Prüfer: HOFFMANN

Baustoffe/m³ Beton in kg

Baustoffe/40.1...2...Misch.

	Zuschl.	Wasser	WZ-	Zement	Zuschlag	Wasser
Art: PZ 35F						
Werk: Teutonia				13,60 kg	73,85 kg	6,80 kg - 3,23 E 3,57 kg
Lieferung am: 10.07.84						
soll: 340	1847	170	0,50			
ist:						
Trockene Baustoffe kg:						

Frischbetonrohichte kg/dm³

soll: ist:

Baustoffanteil/Mischung

= 94,25 kg

Eigenfeuchtigkeit des Betonzuschlages VIENENBURG

Korngruppe:	0/1	0/2	2/8	8/16	16/32
Lieferung:		2.03.84	8.06.84	8.06.84	
Einwaage g					
Brutto:		3312	3278	3318	
Tara:		1312	1278	1318	
Netto:		2000	2000	2000	
Auswaage g					
Brutto:		3153	3221	3285	
Tara:		1312	1278	1318	
Netto:		1841	1943	1967	
Verlust g:		1,59	57	33	
Feuchte %:		8,64	2,93	1,68	

Aufteilung des Betonzuschlages

Korngruppe:	0/1	0/2	2/8	8/16	16/32
Anteil %:		34	26	40	
Zuschlag tr.:		25,10	19,20	29,55	
Feuchtigk. kg:		2,17	0,56	0,50	
Einwaage kg:		27,27	19,76	30,05	

Versuchskörper: Quarz Kiesbeton m. Wirex 40mm
+ Winkelnakenfasern Datum: 11.07.84

Frischbetonwerte	1. M Wirex 40mm		2. M Winkelhaken	
	o.F.	m.F.	o.F.	m.F.
1. <u>Ausbreitmaß</u> cm:	35,0	X	35,0	X
2. <u>Verdichtungsmaß</u> v:	1,17	1,28	1,16	1,35
3. <u>Luftporengehalt</u> %:	2,00	X	1,6	X

4. Betonverdichtung:

Flasche Ø 26, Ø 38 mm, Tisch, Bohle, Stochern, Stampfen

Verdichtungszeit:60..... Sek.

5. Frischbetonrohdichte kg/dm³: $\frac{2,29}{1, M} \cdot \frac{2,45}{2, M} \dots$

	Wirex 40mm 1. Mischung				Winkelhakenfasern 2. Mischung							
Form Nr. :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Form+Beton:	9,40	9,33	9,33	9,36	9,90	9,92	9,85	9,87				
Form leer :	1,62	1,64	1,63	1,66	1,63	1,62	1,61	1,60				
Beton :	7,78	7,69	7,70	7,70	8,27	8,30	8,25	8,27				
kg/dm ³ :	2,31	2,28	2,28	2,28	2,45	2,46	2,44	2,45				

[illegible]

Sachbearbeiter

Dr. Niederichs - 114 -

6220/19067

PRÜFUNG DES BETONZUSCHLAGES

Kornzusammensetzung nach DIN 1045

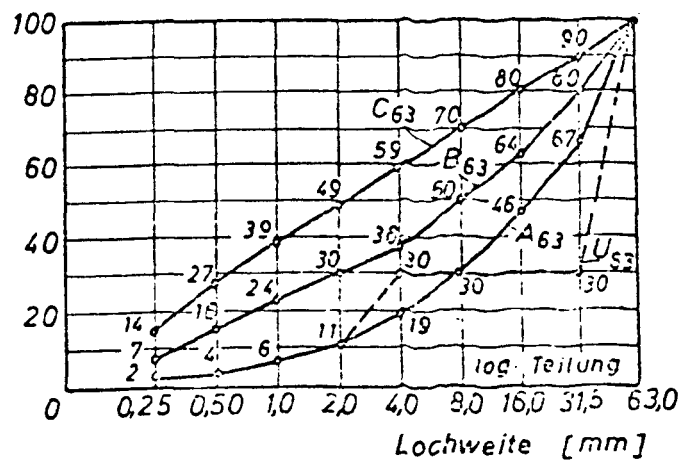
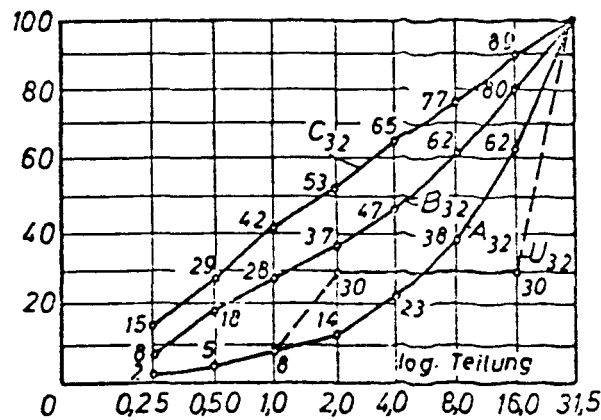
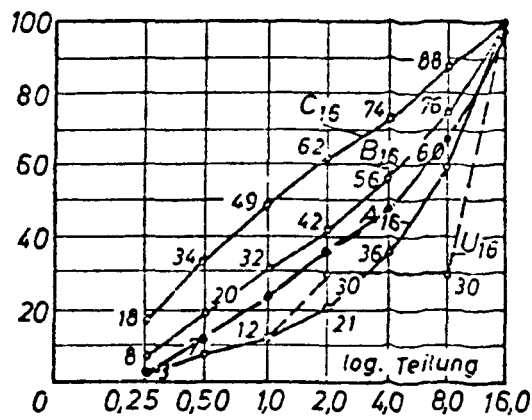
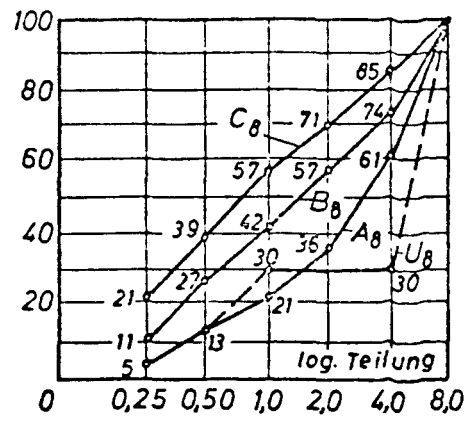
Betonmischung : Quarzgestein

Datum : 11.07.84

Korngruppe Grube Lieferung	Anteile in Gewichts-%								
	Korngruppe mm								
	0/0,25	0,25/0,50	0,5/1	1/2	2/4	4/8	8/16	16/31,5	31,5/63
0/2 Muenster 02.03.84 A	7,9	25,9	33,3	28,6	4,2	0,1			
2/8 Muenster 11.06.84 B	0,3	0,1	0,4	9,0	37,2	57,0	2,1		
8/16 Muenster 11.06.84 C	0,60	0,20	0,10	0,30	0,80	16,30	77,00	4,70	
D									
E									

Zuschlag	Anteile in Gew.-%	Anteile in Gewichts-%								
		Korngruppe mm								
		0/0,25	0,25/0,50	0,5/1	1/2	2/4	4/8	8/16	16/31,5	31,5/63
A	34	2,69	8,81	11,32	9,72	1,43	0,03			
B	26	0,08	0,03	0,10	2,34	9,67	13,26	0,55		
C	40	0,24	0,08	0,04	0,12	0,32	6,52	30,80	1,88	
D										
E										
Siebrückstand :		3,07	8,92	11,46	12,18	11,42	19,81	31,35	1,88	
Siebdurchgang :		3,07	11,93	23,39	35,57	46,99	66,80	98,12	100,00	

Schaubild siehe Rückseite



Antragsteller:

- 116 -

Bearb.-Nr.

Lfd.-Nr.

Sachbearbeiter: DR. DIEDERICH

6220/9067

116/E4

BETONHERSTELLUNG BLATT I

Versuchskörper: (8) Quarzkie beton m. WZ 0,55 v. Stahlfasern

Datum: ... 17.07.84

Prüfer: HOFFMANN

Baustoffe/m ³ Beton in kg				Baustoffe/... 1, 1, 1 ... Misch.		
	Zuschl.	Wasser	WZ-	Zement	Zuschlag	Wasser
Art: PZ 35 F						
Werk: Teutonia				13,60 kg	73,85 kg	7,40 kg
Lieferung am: 10.07.84						-2,51 kg
soll: 340	1847	187	0,55		3% v. B.G. Wirer 0,125	2% v. ZS BV
ist:					2,885 kg	0,272 kg
Trockene Baustoffe kg:						

Frischbetonrohichte kg/dm ³		Baustoffanteil/Mischung	
soll:	ist:	=	kg

Eigenfeuchtigkeit des Betonzuschlages *Neuenhüt*

Korngruppe:	0/1	0/2	2/8	8/16	16/32
Lieferung:		2.03.84	8.06.84	8.06.84	
Einwaage g					
Brutto:		3312	3318	3278	
Tara:		1312	1318	1278	
Netto:		2000	2000	2000	
Auswaage g					
Brutto:		3205	3261	3243	
Tara:		1312	1318	1278	
Netto:		1893	1943	1965	
Verlust g:		107	57	35	
Feuchte %:		5,65	2,93	1,78	

Aufteilung des Betonzuschlages

Korngruppe:	0/1	0/2	2/8	8/16	16/32
Anteil %:		34	26	40	
Zuschlag tr.:		25,10	19,20	29,55	
Feuchtigkeit %:		1,42	0,56	0,53	

BETONHERSTELLUNG BLATT II

Versuchskörper: Quarzh-Beton m. hohem W.Z. und Stahlfasern Datum: 17.07.84

<u>Frischbetonwerte</u>	<u>ohne Fasern</u>	<u>m. Fasern</u>
1. <u>Ausbreitmaß</u> cm:	46,2	/
2. <u>Verdichtungsmaß</u> v:	1,07	1,26
3. <u>Luftporengehalt</u> %:	1,3%	/

4. Betonverdichtung:

Flasche Ø 26, Ø 38 mm, Tisch, Bohle, Stochern, Stampfen

Verdichtungszeit: 60 Sek.

5. Frischbetonrohichte kg/dm³: ... 2,445

Form Nr. :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Form+Beton:	9,84	9,90	9,89	9,90								
Form leer :	1,62	1,64	1,63	1,66								
Beton :	8,22	8,26	8,26	8,24								
kg/dm ³ :	2,44	2,45	2,45	2,44								

Form Nr. :	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Form+Beton:												
Form leer :												
Beton :												
kg/dm ³ :												

Antragsteller :

Sachbearbeiter:

Dr. Stedrich - 118 -

Bearb.-Nr.:

6220/9067

PRÜFUNG DES BETONZUSCHLAGES

Kornzusammensetzung nach DIN 1045

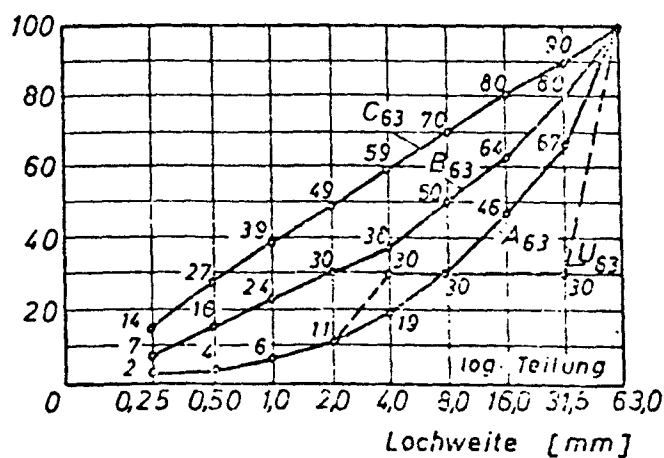
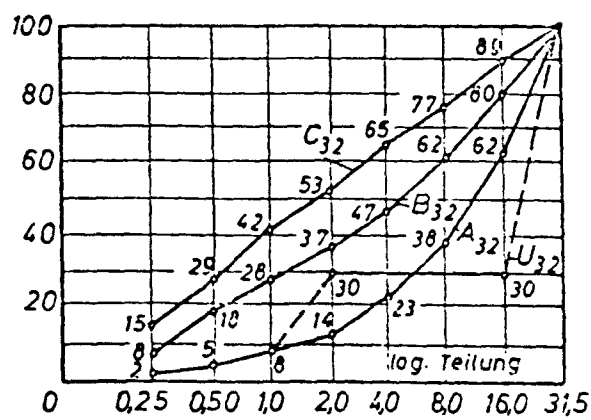
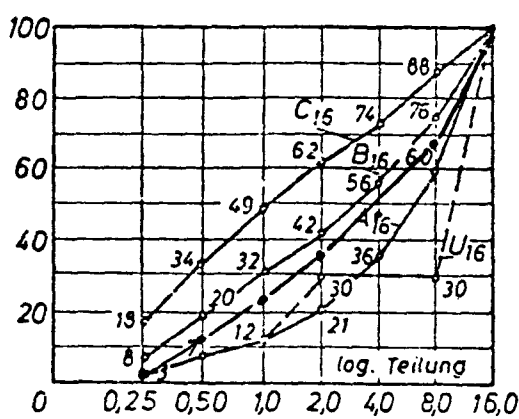
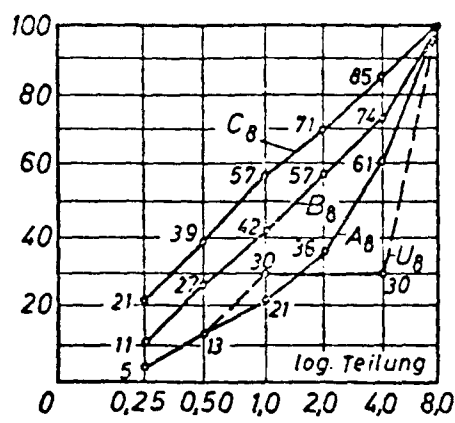
Betonmischung : ⑤ Quarzkeisbeton m. WZ 0,55

Datum : 17.07.84

Korngruppe Grube Lieferung		Anteile in Gewichts-%								
		Korngruppe mm								
		0/0,25	0,25/0,50	0,5/1	1/2	2/4	4/8	8/16	16/31,5	31,5/63
0/2 Vienenburg 02.03.84	A	7,9	25,9	33,3	28,6	4,2	0,1			
2/8 Vienenburg 08.06.84	B	0,13	0,1	0,4	9,0	37,2	57,0	2,1		
8/16 Vienenburg 08.06.84	C	0,6	0,2	0,1	0,3	0,8	16,3	77,0	4,70	
	D									
	E									

Zuschlag	Anteile in Gew.-%	Anteile in Gewichts-%								
		Korngruppe mm								
		0/0,25	0,25/0,50	0,5/1	1/2	2/4	4/8	8/16	16/31,5	31,5/63
A	34	2,69	8,81	11,32	9,72	1,43	0,03			
B	26	0,08	0,03	0,10	2,34	9,67	13,26	0,55		
C	40	0,24	0,08	0,04	0,12	0,32	6,52	30,20	1,88	
D										
E										
Siebrückstand :		3,07	8,92	11,46	12,18	11,42	19,81	31,35	1,88	
Siebdurchgang :		3,07	11,93	23,39	35,57	46,99	66,80	98,12	100,00	

Schaubild siehe Rückseite



Antragsteller:

-120-

Bearb.-Nr.

Lfd.-Nr.

Sachbearbeiter:

DR. DIEDERICHS

6220/9067

117/84

BETONHERSTELLUNG BLATT I

Versuchskörper: ⑧ Quarzkiesbeton WZ 0,65 + Stahlfasern

Datum: 17.07.84

Prüfer: HOFFMANN

Baustoffe/m³ Beton in kg

Baustoffe/40.1, 1....Misch.

	Zuschl.	Wasser	WZ-	Zement	Zuschlag	Wasser
Art: PZ 35F						
Werk: Teutonia				73,60 kg	73,85 kg	884 kg - 2,51 E 6,33 kg
Lieferung am: 10.07.84						
soll: 340	1847	221	0,65			
ist:					Wirex-Stahlfaser 0,4/25mm = 3% v. BG = 2,855 kg	1 % v. Z. BV 0,136 kg
Trockene Baustoffe kg:						

Frischbetonrohddichte kg/dm³

soll: ist:

Baustoffanteil/Mischung

= kg

Eigenfeuchtigkeit des Betonzuschlages Neuentwurf

Korngruppe:	0/1	0/2	2/8	8/16	16/32
Lieferung:		2.03.84	8.06.84	8.06.84	
Einwaage g					
Brutto:		3312	3318	3278	
Tara:		1312	1318	1278	
Netto:		2000	2000	2000	
Auswaage g					
Brutto:		3205	3261	3243	
Tara:		1312	1318	1278	
Netto:		1893	1943	1965	
Verlust g:		107	57	35	
Feuchte %:		5,65	2,93	1,78	

Aufteilung des Betonzuschlages

Korngruppe:	0/1	0/2	2/8	8/16	16/32
Anteil %:		34	26	40	
Zuschlag tr.:		25,10	19,20	29,55	
Feuchte %:		1,42	0,56	0,53	

BETONHERSTELLUNG BLATT II

Versuchskörper: Quarz-Kies-Beton m. WZ 0,65 Datum: ...17.07.84.....
u. Stahlfasern

<u>Frischbetonwerte</u>	<u>a. BV</u>	<u>m. BV</u>	<u>mit Fasern</u>
1. <u>Ausbreitmaß</u> cm:	41,5	52,5	/
2. <u>Verdichtungsmaß</u> v:	/	1,03	1,15
3. <u>Luftporengehalt</u> %:	/	1,1	/

4. Betonverdichtung:

Flasche \varnothing 26, \varnothing 38 mm, Tisch, Bohle, Stochern, Stampfen

Verdichtungszeit:60..... Sek.

5. Frischbetonrohichte kg/dm³:2,43.....

Form Nr. :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Form+Beton:	9,86	9,82	9,84	9,77								
Form leer :	1,63	1,62	1,61	1,60								
Beton :	8,23	8,20	8,23	8,17								
kg/dm ³ :	2,44	2,43	2,44	2,42								

Form Nr. :	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Form+Beton:												
Form leer :												
Beton :												
kg/dm ³ :												

Antragsteller :
Sachbearbeiter

Dr. Weidner -122-

Bearb.-Nr.:

6220/9067

PRÜFUNG DES BETONZUSCHLAGES

Kornzusammensetzung nach DIN 1045

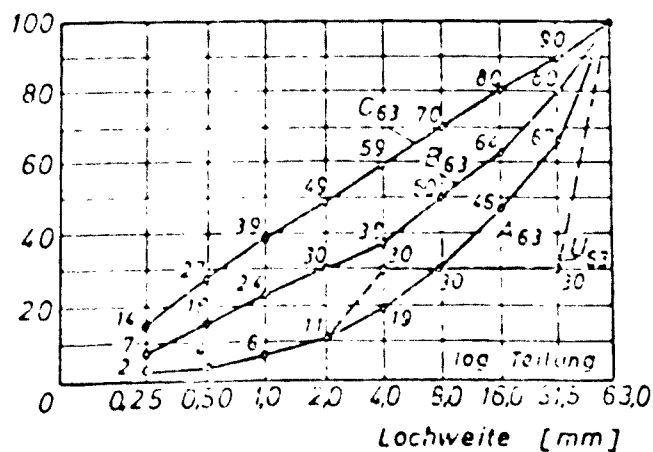
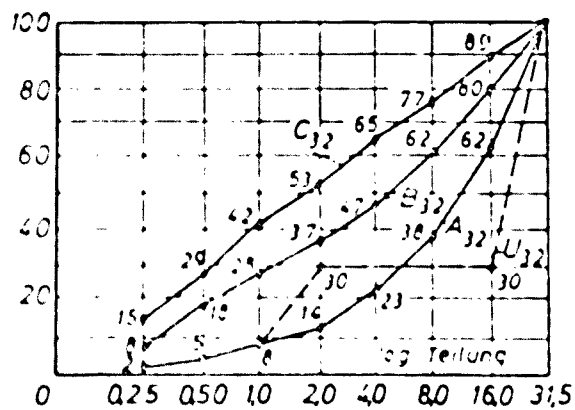
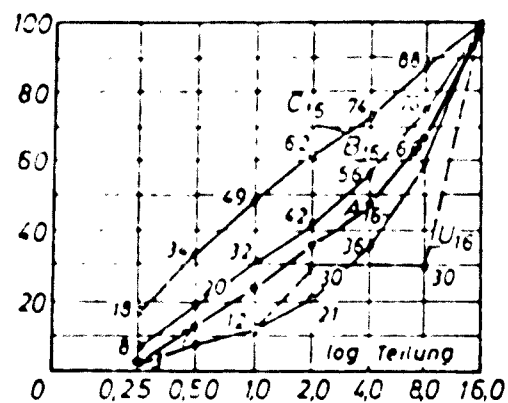
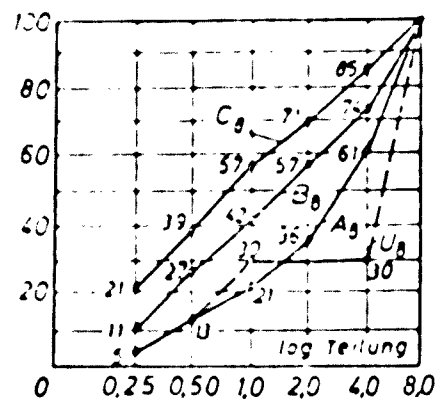
Betonmischung : Quarzkießbeton W2 065

Datum : 17.07.84

Korngruppe Grube Lieferung	Anteile in Gewichts-%								
	Korngruppe mm								
	0/0,25	0,25/0,50	0,5/1	1/2	2/4	4/8	8/16	16/31,5	31,5/63
0/2 Weidenburg 02.03.84	A	7,9	25,9	33,3	28,6	4,2	0,1		
2/8 Weidenburg 08.06.84	B	0,3	0,1	0,4	9,0	37,2	51,0	2,1	
8/16 Weidenburg 08.06.84	C	0,6	0,2	0,1	0,3	0,8	16,3	77,0	4,7
	D								
	E								

Zuschlag	Anteile in Gew.-%	Anteile in Gewichts-%								
		Korngruppe mm								
		0/0,25	0,25/0,50	0,5/1	1/2	2/4	4/8	8/16	16/31,5	31,5/63
A	34	2,69	8,81	11,32	9,72	1,43	0,03			
B	26	0,08	0,03	0,10	2,34	9,67	13,26	0,55		
C	40	0,24	0,08	0,04	0,12	0,32	6,52	30,80	1,88	
D										
E										
Siebrückstand :		3,07	8,92	11,46	12,18	11,42	19,81	31,35	1,88	
Siebdurchgang :		3,07	11,93	23,39	35,57	46,99	66,80	98,12	100,00	

Schaubild siehe Rückseite



Antragsteller:

-124-

Bearb.-Nr.

Lfd.-Nr.

Sachbearbeiter: DR. DIEDERICHS

6220/9067

123/84

BETONHERSTELLUNG BLATT I

Versuchskörper: Mörtelmischung 0-8 mm... ohne u. m. Fasern

Datum: ... 30.07.84

Prüfer: HOFFMANN

Baustoffe/m ³ Beton in kg				Baustoffe/.801,1...Misch.		
	Zuschl.	Wasser	WZ-	Zement	Zuschlag	Wasser
Art: Pz 36 F						
Verk: Teutonia				40,00 kg	116,00 kg	20,00 kg
Lieferung am: 26.07.84						- 7,45 kg
soll: 500	1500	250	0,50		2,60 kg Fasern;	12,56 kg
ist:					1. Hälfte ohne	+ 0,400 kg
Trockene Baustoffe kg:					2. " mit Wirex 0,4/25.	BV = 1% v. Zem. Gew.

Frischbetonrohichte kg/dm ³	Baustoffanteil/Mischung
soll: ist:	= kg

Eigenfeuchtigkeit des Betonzuschlages VIENENBURG					
Korngruppe:	0/1	0/2	2/8	8/16	16/32
Lieferung:		2.03.84	8.06.84		
Einwaage g					
Brutto:		3318	3312		
Tara:		1318	1312		
Netto:		2000	2000		
Auswaage g					
Brutto:		3173	3248		
Tara:		1318	1312		
Netto:		1855	1936		
Verlust g:		145	64		
Feuchte %:		7,82	3,31		

Aufteilung des Betonzuschlages					
Korngruppe:	0/1	0/2	2/8	8/16	16/32
Anteil %:		~ 69	~ 31		
Zuschlagstr.:		80,00	36,00		
		119			

BETONHERSTELLUNG BLATT II

Versuchskörper: Quarzkiesmörtel 0-8 mm. Datum: ..30.07.84.....

<u>Frischbetonwerte</u>	<u>ohne Fasern</u>	<u>mit Fasern</u>
1. <u>Ausbreitmaß</u> cm:	54,0	/
2. <u>Verdichtungsmaß</u> v:	1,06	1,06
3. <u>Luftporengehalt</u> %:	3,0	/

4. Betonverdichtung:

Flasche Ø 26, Ø 38 mm, Tisch, Bohle, Stochern, Stampfen

Verdichtungszeit: ..30..60. sek.

ohne Fasern mit Fasern

5. Frischbetonrohddichte kg/dm³: ..2,31...2,315...

	Mo 1. Hälfte ohne Fasern				ohne Fasern mit Fasern 2. Hälfte m. Fasern							
Form Nr. :	1	2	3	4	5(1)	6(2)	7(3)	8(4)	9	10	11	12
Form+Beton:	9,42	9,41	9,42	9,42	9,43	9,45	9,44	9,40				
Form leer :	1,62	1,64	1,63	1,66	1,63	1,62	1,61	1,60				
Beton :	7,82	7,77	7,79	7,76	7,80	7,83	7,83	7,80				
kg/dm ³ :	2,32	2,30	2,31	2,30	2,31	2,32	2,32	2,31				

Form Nr. :	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Form+Beton:												
Form leer :												
Beton :												
kg/dm ³ :												

13/06/2014

BETONHERSTELLUNG BLATT II

Versuchskörper: 3.B. 14x15x70 Kalksteinbeton Datum: 10.10.84

Frischbetonwerte

m.BV

- x 1. Ausbreitmaß cm: 43,5
 x 2. Verdichtungsmaß v: 1,16
 x 3. Luftporengehalt %: 2,0

4. Betonverdichtung:

Flasche Ø 26, Ø 38 mm, Tisch, Bohle, Stochern, Stampfen
 Verdichtungszeit: 60 Sek.

5. Frischbetonrohddichte kg/dm³: 2,47

Form Nr. :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Form+Beton:	9,95	9,98	9,96	9,98								
Form leer :	1,62	1,64	1,63	1,66								
Beton :	8,33	8,34	8,33	8,32								
kg/dm ³ :	2,47	2,47	2,47	2,47								

Form Nr. :	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Form+Beton:												
Form leer :												
Beton :												
kg/dm ³ :												

Antragsteller:

-128-

Bearb.-Nr.

Lfd.-Nr.

Sachbearbeiter: DR. DIEDERICHS

6226/9067

158/84

BETONHERSTELLUNG BLATT I

Versuchskörper: Kalksteinbeton..3 Balken 64x15x77 mit Fasern

Datum: ...15.10.84.....

Prüfer: ...HOFFMANN.....

Baustoffe/m³ Beton in kg

Baustoffe/...1,...1...Misch.

	Zuschl.	Wasser	WZ-	Zement	Zuschlag	Wasser
Art: PZ 35 F						
Werk: Teutonia				13,69 kg	75,36 kg	6,12 kg
Lieferung am: 4.09.84						
soll: 340	1884	153				
ist:						
Trockene Baustoffe kg:				Wirex Stahlfasern 04/25 = 2,92 kg	BV 10% v ZG = 0,136 kg	

Frischbetonrohddichte kg/dm³
soll: ist:Baustoffanteil/Mischung
= kg

Eigenfeuchtigkeit des Betonzuschlages

Kalksteinsplitt

Korngruppe: Lieferung:	0/1	brems Sand 0/2	2/8	8/16	11/16/30
Einwaage g Brutto:					
Tara:					
Netto:					
Auswaage g Brutto:					
Tara:					
Netto:					
Verlust g:					
Feuchte %:					

T R O C K E N

Aufteilung des Betonzuschlages

Korngruppe:	0/1	0/2	2/8	8/16	11/16/30
Anteil %:		20	40	15	25
Zuschlag tr.:		15,07	39,15	11,30	18,84
Feuchte:					18,84

BETONHERSTELLUNG BLATT II

Versuchskörper: 3 Balken 6,4x15x70 Kalkst. Datum: 10.10.84

Frischbetonwerte

m. GV u. Fasern

1. Ausbreitmaß cm:
- ✓ 2. Verdichtungsmaß v: 1,20
3. Luftporengehalt %: 7,2

4. Betonverdichtung:

Flasche Ø 26, Ø 38 mm, Tisch, Bohle, Stochern, Stampfen
Verdichtungszeit: 60+30 sek.

5. Frischbetonrohichte kg/dm³: ... 2,455

Form Nr. :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Form+Beton:	9,92	9,90	9,92	9,88								
Form leer :	1,63	1,62	1,61	1,60								
Beton :	8,29	8,28	8,31	8,28								
kg/dm ³ :	2,46	2,45	2,46	2,45								

Form Nr. :	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Form+Beton:												
Form leer :												
Beton :												
kg/dm ³ :												

Antragsteller:

Sachbearbeiter:

DR. PIEDERICH S

- 130 -

Bearb.-Nr.

6220/9067

423/84

Lfd.-Nr.

166 / 84

BETONHERSTELLUNG BLATT I

Versuchskörper: ... 3 Balken 44x15x70.. Mörtelmischung 0/8 mm
mit 6% Fasern (Harex)

Datum: ... 29. 10. 84

Prüfer: ... HOFFMANN

Baustoffe/m ³ Beton in kg				Baustoffe/.40.1, ... Misch.		
	Zuschl.	Wasser	WZ-	Zement	Zuschlag	Wasser
Art: PZ 35 F	1500	250	0,50	20,00 kg	60,00 kg	10,00 kg
Werk: Teutonia						10,00 kg
Lieferung am: 4. 09. 84						10,00 kg
soll: 500						10,00 kg
ist:						
Trockene Baustoffe kg:				BV = 12,00 kg = 0,20 kg 6% Fasern-Harex = 5,50 kg		
Frischbetonrohddichte kg/dm ³				Baustoffanteil/Mischung		
soll: ist:				= kg		

Eigenfeuchtigkeit des Betonzuschlages VIENEN

Korngruppe:	0/1	0/2	2/8	8/16	16/32
Lieferung:		2. 03. 84	8. 06. 84		
Einwaage g					
Brutto:					
Tara:					
Netto:					
Auswaage g					
Brutto:					
Tara:					
Netto:					
Verlust g:					
Feuchte %:					

Trocken!

Aufteilung des Betonzuschlages					
Korngruppe:	0/1	0/2	2/8	8/16	16/32
Anteil %:		70	30		
Zuschlag tr.:		42,00	18,00		
Feuchtigk. kg:		-	-		
Einwaage kg:		42,00	18,00		

BETONHERSTELLUNG BLATT II

Versuchskörper: 3 Balken Mörtel m. 0-5 mm Datum: 29.10.84
mit Fasern

<u>Frischbetonwerte</u>	<u>ohne Fasern</u>	<u>mit Fasern</u>
1. <u>Ausbreitmaß</u> cm:	56,0	
2. <u>Verdichtungsmaß</u> v:	1,02	1,05
3. <u>Luftporengehalt</u> %:	2,0	5,3
4. <u>Betonverdichtung:</u>		
Flasche Ø 26, Ø 38 mm, <u>Tisch</u> , Bohle, Stochern, Stampfen		
Verdichtungszeit: 60 Sek.		
5. <u>Frischbetonrohichte</u> kg/dm ³ :	2,34	

Form Nr. :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Form+Beton:	9,44	9,56	9,52	9,57								
Form leer :	1,62	1,64	1,63	1,66								
Beton :	7,82	7,92	7,89	7,91								
kg/dm ³ :	2,32	2,35	2,34	2,34								

Form Nr. :	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Form+Beton:												
Form leer :												
Beton :												
kg/dm ³ :												

BETONHERSTELLUNG BLATT II

Versuchskörper: 3 Balken. Mörtel m.: 0-8 mm ... Datum: ... 29.12.94.
m. Fasern

<u>Frischbetonwerte</u>	<u>ohne Fasern</u>	<u>mit Fasern</u>
-------------------------	--------------------	-------------------

1. Ausbreitmaß cm:

Slehe

/

2. Verdichtungsmaß v:

Protokoll

1,06

3. Luftporengehalt %:

166/84

7,6

4. Betonverdichtung:

Flasche Ø 26, Ø 38 mm, Tisch, Bohle, Stochern, Stampfen

Verdichtungszeit: 60 Sek.

5. Frischbetonrohichte kg/dm³: 2,35

Form Nr. :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Form+Beton:	9,56	9,54	9,56	9,50						
Form leer :	1,63	1,62	1,61	1,60						
Beton :	7,93	7,92	7,95	7,90						
kg/dm ³ :	2,35	2,35	2,36	2,34						

Form Nr. :	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Form+Beton:										
Form leer :										
Beton :										
kg/dm ³ :										

Antragsteller:

-134-

Bearb.-Nr.

Lfd.-Nr.

Sachbearbeiter:

DR. DIEDERICHS

6220/9667

171 / 84

BETONHERSTELLUNG BLATT I

Versuchskörper: 3 Balken 4,4 x 15 x 70.. Quarzkie beton. m 3% Harex

Datum: ... 1. 11. 84

Prüfer: ... HOFFMANN

Baustoffe/m³ Beton in kg

Baustoffe/.4C.1, .A... Misch.

	Zuschl.	Wasser	WZ-	Zement	Zuschlag	Wasser
Art: PZ 35 F						
Werk: Tectonia				13,60 kg	73,90 kg	6,80 kg - 1 = 6,80 kg
Lieferung am: 4.09.84						
soll: 340	1847	170	0,50			BV = 1% 0,136 kg v. 26.
ist:						
Trockene Baustoffe kg:					Harex. Fasern 3% = 2,86 kg	

Frischbetonrohddichte kg/dm³

soll: ist:

Baustoffanteil/Mischung
= kg

Eigenfeuchtigkeit des Betonzuschlages VIENENBURG

Korngruppe:	0/1	0/2	2/8	8/16	16/32
Lieferung:		2.03.84	8.06.84	8.06.84	
Einwaage g					
Brutto:					
Tara:					
Netto:					
Auswaage g					
Brutto:					
Tara:					
Netto:					
Verlust g:					
Feuchte %:					

T R O C K E N !

Aufteilung des Betonzuschlages

Korngruppe:	0/1	0/2	2/8	8/16	16/32
Anteil %:		34	26	40	
Zuschlagstr.::		25,10	19,20	29,60	

BETONHERSTELLUNG BLATT II

Versuchskörper: 3 Balken-Quarz Kies - 3% Haver Datum: ...1.11.84.....

<u>Frischbetonwerte</u>	<u>ohne Fasern</u>	<u>mit Fasern</u>
x1. <u>Ausbreitmaß</u> cm:	34,5	/
x2. <u>Verdichtungsmaß</u> v:	1,13	1,28
x3. <u>Luftporengehalt</u> %:	2,0	2,7

4. Betonverdichtung:

Flasche \emptyset 26, \emptyset 38 mm, Tisch, Bohle, Stochern, Stampfen

Verdichtungszeit:60..... Sek.

5. Frischbetonrohdichte kg/dm³:2,42.....

Form Nr. :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Form+Beton:	9,78	9,80	9,76	9,84								
Form leer :	1,62	1,64	1,63	1,66								
Beton :	8,16	8,16	8,13	8,18								
kg/dm ³ :	2,42	2,42	2,41	2,42								

Form Nr. :	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Form+Beton:												
Form leer :												
Beton :												
kg/dm ³ :												

Antragsteller:

-136-

Bearb.-Nr.

Lfd.-Nr.

Sachbearbeiter:

DR. DIEDERICHS

6220/9067

172/84

BETONHERSTELLUNG BLATT I

Versuchskörper: 3 Balken 64x15x70 Quarz Kiesbeton m. 6% Harex

Datum: ...1.11.84.....

Prüfer: ...HOFFMANIN.....

Baustoffe/m³ Beton in kg

Baustoffe/.40.1, .1... Misch.

	Zuschl.	Wasser	WZ-	Zement	Zuschlag	Wasser
Art: PZ 35F						
Werk: Teutonia				13,60 kg	73,90 kg	6,80 kg - E 6,80 kg
Lieferung am: 4.09.84						
soll: 340	1847	170	0,50			BV = 1% = 0,136 kg v. 70 + 0,136
ist:						
Trockene Baustoffe kg:					Harex Fasern 6% = 5,72 kg	

Frischbetonrohddichte kg/dm³
soll: ist:Baustoffanteil/Mischung
= kg

Eigenfeuchtigkeit des Betonzuschlages VIENENBURG

Korngruppe: Lieferung:	0/1	0/2	2/8	8/16	16/32
		2.03.84	8.06.84	8.06.84	
Einwaage g Brutto:					
Tara:					
Netto:					
Auswaage g Brutto:					
Tara:					
Netto:					
Verlust g:					
Feuchte %:					

T R O C K E N !

Aufteilung des Betonzuschlages

Korngruppe:	0/1	0/2	2/8	8/16	16/32
		34	26	40	
Anteil %:		25,10	19,20	29,60	
Zuschlag tr.:					
Feuchtigkeit kg:			19,20	29,60	

BETONHERSTELLUNG BLATT II

Versuchskörper: 3 B. Quarz Kies beton m. 6% Harex Datum: 1.11.84

<u>Frischbetonwerte</u>	<u>ohne Fasern</u>	<u>mit Fasern</u>
1. <u>Ausbreitmaß</u> cm:	Siehe	/
2. <u>Verdichtungsmaß</u> v:	Protokoll	1,26
3. <u>Luftporengehalt</u> %:	171/84	1,7

4. Betonverdichtung:

Flasche \emptyset 26, \emptyset 38 mm, Tisch, Bohle, Stochern, Stampfen

Verdichtungszeit:60..... Sek.

5. Frischbetonrohddichte kg/dm³:2,49.....

Form Nr. :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Form+Beton:	10,01	10,02	10,04	10,03								
Form leer :	1,63	1,62	1,61	1,60								
Beton :	8,38	8,40	8,43	8,43								
kg/dm ³ :	2,48	2,49	2,50	2,50								

Form Nr. :	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Form+Beton:												
Form leer :												
Beton :												
kg/dm ³ :												

Antragsteller:	-138-	Bearb.-Nr.:	Beto.
Sachbearbeiter: Dr. Nedelich		5706/9112	219,

Versuchs-Auftrag: Vorgegeben Quarzkies

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12
2	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35	
	20x20x20			d20;h 80	

(Würfel: Druckfestigkeit

Platten: Wasserundurchlässigkeit *schlecht verbleibend*

Bezeichnung	Herstellg. am	Prüfung am ⁺	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN
				l	b	h	d			
219/83 1				15,0	15,0	15,0		7,90	2,34	1113
01.12.83 2	01.12.83	19.12.83	28	15,0	15,0	15,0		7,96	2,36	1165
									2,35	

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

+) Prüfung im Alter von (Tg)
 Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
 Prüfung bei Versuchsende (VE)
 Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine: *Tubel 5000*
 Prüfer: *16*

Antragsteller:	-139-	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter:	Dr. Nöckerdis	5106/9112	219/83

Versuchs-Auftrag: Vorversuch Quarzkees

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12
2	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35	
	20x20x20			d20;h 80	

X Würfel: Druckfestigkeit
 Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am ⁺⁾	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	R N/mm ²
				l	b	h	d				
219/83 3			UD	150	150	150		8,00	2,37	1311	58
01.12.83 4	01.12.83	02.02.84	63	150	150	150		8,02	2,38	1346	60
									2,38		59

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

⁺⁾ Prüfung im Alter von (Tg)
 Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
 Prüfung bei Versuchsende (VE)
 Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine: Schenck Trebel 5000 NW
 Prüfer: V

Antragsteller:	- 140 -	Bearb.-Nr.:	Ber:
Sachbearbeiter: Dr. Bröckendörfer		5106/4112	221

Versuchs-Auftrag: Diabas Beton

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12
2	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35	
	20x20x20			d20;h 80	

(Würfel: Druckfestigkeit
Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am ⁺⁾	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN
				l	b	h	d			
221/83 1				150	150	150		8,44	2,50	123
SFD 2	5.12.83	2.1.84	28	150	150	150		8,30	2,46	116
5.12.83									2,48	

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

⁺⁾ Prüfung im Alter von (Tg) Prüfmaschine: Schenck Treibri
Prüfung bei Versuchsbeginn (VB) Prüfer: *fr*
Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
Prüfung bei Versuchsende (VE)
Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Antragsteller:	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter:	5-106/9112	221/83

Versuchs-Auftrag: Diabas - Beton

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12
2	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35	
	20x20x20			d20;h 80	

X Würfel: Druckfestigkeit
 Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am ⁺⁾	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	R _b N/mm ²
				l	b	h	d				
221/83 3		VD	59	150	150	150		8,36	2,48	1330	59
SFD 4	5.12.83	02.02.84		150	150	150		8,36	2,48	1306	58
S.12.83									2,48		59

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

⁺⁾ Prüfung im Alter von (Tg)
 Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
 Prüfung bei Versuchsende (VE)
 Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine: Schenck Trebel 5000 kN
 Prüfer: K

Auftragsteller:		Bett.-Nr.:		Bett.-Nr.:	
Sachbearbeiter:		5106/9112		225/53	

Versuchs-Auftrag:

Kalksteinbeton, Mischung KS I

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15; h 30	20x20x12
2	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15; h 35	
	20x20x20			d20; h 80	

Würfel: Druckfestigkeit

Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am +)	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	B N/mm ²
				l	b	h	d				
25/83 1				150	150	150		8,32	2,47	1439	64
KS I				150	150	150		8,30	2,46	1391	62
8.12.83 2	8.12.83	0501.84	28								
									2,47		63

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

+) Prüfung im Alter von (Tg)
 Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
 Prüfung bei Versuchsende (E)
 Prüfung nach Angabe (Angabe einpr.)

Prüfmaschine: Schenck Trebel 5000 kN
 Prüfer: K

Antragsteller:	-143-	Boards.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter:	Dr. Nöckerichs	5106/9112	225/83

Versuchs-Auftrag: Kalksteinbeton, Mischung KS I

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12
2	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35	
	20x20x20			d20;h 80	

X Würfel: Druckfestigkeit
Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichnung	Herstellg. am	Prüfung am ⁺⁾	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	σ N/mm ²
				l	b	h	d				
225/83 1				150	150	150		8,32	2,47	1439	64
KS I				150	150	150		8,30	2,46	1391	62
8.12.83 2	8.12.83	05.01.84	28								
									2,47		63

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

⁺⁾ Prüfung im Alter von (Tg)
 Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
 Prüfung bei Versuchsende (VE)
 Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine: Schenck Trebel 5000 kN
 Prüfer: K

Antragsteller:	- 144 -	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter:	Dürrich		

Versuchs-Auftrag: 6 Proben, Stahlbeton

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12
	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35	
	20x20x20			d20;h 80	

~~Würfel:~~ Druckfestigkeit
Platten: ~~Wasserdurchlässigkeit~~

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am +)	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	B N/mm ²
				l	b	h	d				
SFQ 12				13.4	6.4	15.0		2.986	2.32	390	45
1.12. 13	1.12.	27.12.83	16	13.3	5.9	15.0		2.872	2.44	382	49
									2.38		47

~~Prismen:~~ Druckfestigkeit - ~~E-Modul~~

SFD 12				13.5	6.3	14.9		3.071	2.42	321	38
5.12 14	5.12.	27.12.83	22	13.5	6.2	15.0		3.054	2.43	346	41
									2.43		40

~~Balken:~~ ~~Druckfestigkeit~~

KSI 11				13.5	6.4	15.0		3.202	2.47	379	44
5.12 12	8.12.	27.12.83	19	13.5	6.5	14.9		3.218	2.46	384	32
									2.47		38

~~Zylinder:~~ Druckfestigkeit - ~~Spaltzugfestigkeit~~ - ~~E-Modul~~ - ~~Schwinden~~ - ~~Kriechen~~

+) Prüfung im Alter von (Tg)
 Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
 Prüfung bei Versuchsende (VE)
 Prüfung nach Ang. (Angabe v. d. Pr.)

Prüfmaschine:
 Prüfer:

Antragsteller:	- 145 -	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter:	Dr. Niederichs	5766/9112	225/83

Versuchs-Auftrag: Kalksteinbeton, Mischung KS I

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12
2	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35	
	20x20x20			d20;h 80	

X Würfel: Druckfestigkeit
Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am +)	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	R N/mm ²
				l	b	h	d				
225/83 3		VD	56	150	150	150		8,36	2,48	1584	70
KS I				150	150	150		8,36	2,48	1594	71
8.12.83 4	8.12.83	02.02.84									
									2,48		71

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

+) Prüfung im Alter von (Tg)
 Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
 Prüfung bei Versuchsende (VE)
 Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine: sehenck Trebel 5000 kN
 Prüfer: V

Antragsteller:	- 146 -	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter: <i>J. Dieckmann</i>		6220/9067	84/84

Versuchs-Auftrag: Quarkiesbeton o.F.

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12
2	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35	
	20x20x20			d20;h 80	

Würfel: Druckfestigkeit
 Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am ⁺⁾	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	R N/mm ²
				l	b	h	d				
84/84 1				150	150	150		8,18	2,42	1221	54
Q0 2	17.05.84	14.06.84	28	150	150	150		8,16	2,42	1221	54
17.05.84									2,42		54

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

+) Prüfung im Alter von (Tg)
 Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
 Prüfung bei Versuchsende (VE)
 Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine: Schenck T₁ 162 5000/16
 Prüfer: *[Signature]*

Antragsteller:	-147-	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter: Dr. Kiedrich		6220/9068	8x/84

Versuchs-Auftrag:

Quarzkeis-Beton O.F.

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12
	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35	
	20x20x20			d20;h 80	

✓ Würfel: Druckfestigkeit
Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am ⁺⁾	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	R _N /mm ²
				l	b	h	d				
84/84		VD	154	150	150	150		8,08	2,39	1438	64
QO				150	150	150		8,10	2,40	1476	66
17.5.84	17.05.84	18.10.84							2,40		65

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

⁺⁾ Prüfung im Alter von
 Prüfung bei Versuchsbeginn (Tg)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VB)
 Prüfung bei Versuchsende (VD)
 Prüfung nach Angabe (VE)
 (Angabe eintr.)

Prüfmaschine: Schenck Triebel 5000kN
 Prüfer: g

Antragsteller:	Dr. Diedenicher -148-	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter:		6220/9062	84/84

Versuchs-Auftrag: Quarkies-Beton m. F.

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12
2	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35	
	20x20x20			d20;h 80	

Würfel: Druckfestigkeit
 Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am ₊)	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruch- last kN	B N/mm ²	
				l	b	h	d					
84/84 1	17.05.84	14.06.84	28	150	150	150		8,16	2,42	1211	54	
Qm				150	150	150		8,14	2,41	1093	49	
17.05.84 2												
										2,42		52

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

+) Prüfung im Alter von (Tg)
 Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
 Prüfung bei Versuchsende (VE)
 Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine: Schenck Trebel 5000 114'
 Prüfer: *[Signature]*

Antragsteller:	-149-	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter: Dr. Kiedrichs		6220/9067	84184

Versuchs-Auftrag: Quarkies-Beton m.F.

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12
	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35	
	20x20x20			d20;h 80	

Würfel: Druckfestigkeit
Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am ⁺⁾	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	σ N/mm ²
				l	b	h	d				
84/84		UD	154	150	150	150		7,86	2,33	1264	56
Qu 3	17.05.84	18.10.84		150	150	150		8,04	2,38	1355	60
17.05.84									2,36		58

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

⁺⁾ Prüfung im Alter von (Tg)
 Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
 Prüfung bei Versuchsende (VE)
 Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine: Schenck Tübel 500kN
 Prüfer: J.

Antragsteller:	-150-	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter:	Dr. Niederichs	6220/9067	90/84

Versuchs-Auftrag: 6 Balken 6,4 x 15 x 70 Diabasbeton
mit u. ohne Faser

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten			
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12			
2	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35				
	20x20x20			d20;h 80				

Würfel: Druckfestigkeit
Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am +)	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	R N/mm ²
				l	b	h	d				
90/84 00 1 2	28.05.84	2506.84	28	150	150	150		8,44	2,50	1160	52
				150	150	150		8,38	2,48	1142	51
									2,49		52

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

- +) Prüfung im Alter von (Tg)
Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
Prüfung bei Versuchsende (VE)
Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine: Schenck Trebel 500KN
Prüfer: K

Antragsteller:	- 151 -	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter:	Dr. Diederichs	6220/9067	90/84

Versuchs-Auftrag: 6 Balken 6,4x15x70 Diabasbeton
mit u. ohne Fasern

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12
	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35	
	20x20x20			d20;h 80	

X Würfel: Druckfestigkeit
 Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am ⁺⁾	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	R N/mm ²
				l	b	h	d				
90/84 3		UD	143	150	150	150		8,30	2,46	1300	58
Do 4	28.05.84	18.10.84		150	150	150		8,36	2,48	1316	59
									2,47		59

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

⁺⁾ Prüfung im Alter von (Tg)
 Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
 Prüfung bei Versuchsende (VE)
 Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine: Schenck Trebel 5000 kN
 Prüfer: Z

Antragsteller:	-152-	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter:		6220/9067	90/84

Versuchs-Auftrag: 6 Balken 6,4x15x70 Bialtesbeton
mit u. ohne Fasern

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12
2	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35	
	20x20x20			d20;h 80	

Würfel: Druckfestigkeit

Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am ⁺⁾	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruch- last kN	R N/mm
				l	b	h	d				
90/84 1 Dm 2	28.05.84	25.06.84	28	150	150	150		8,48	2,51	1075	48
				150	150	150		8,52	2,52	1050	47
								2,52		48	

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

⁺⁾ Prüfung im Alter von (Tg)
 Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
 Prüfung bei Versuchsende (VE)
 Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine: Schenck Tische 5000kN
 Prüfer: K

Antragsteller:	- 153 -	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter:	Dr. Steedenichs	6220/9067	90/84

Versuchs-Auftrag: 6 Balken 64x15x70 Ghabasbeton
mit u. ohne Fasern

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12
	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35	
	20x20x20			d20;h 80	

Würfel: Druckfestigkeit
Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am +)	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm³	Bruchlast kN	R N/mm²
				l	b	h	d				
Dm 3 90/84 4	28.05.84	VD 18.10.84	143	150	150	150		8,40	2,49	12,54	56
				150	150	150		8,42	2,49	12,19	54
									2,49		55

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

+) Prüfung im Alter von (Tg)

Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)

Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)

Prüfung bei Versuchsende (VE)

Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine: Schenck Tredel 5000 kN
Prüfer: J.

Antragsteller:	- 154 -	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter:	Dr. Dieckhoff	6220/9067	105/84

Versuchs-Auftrag: Quarkbeton mit 1 bzw. 2 % Faser (7)

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten			
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12			
	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35				
	20x20x20			d20;h 80				

(Würfel: Druckfestigkeit
Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am ⁺⁾	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	B N/mm ²
				l	b	h	d				
105/84 QM 1 1.M	27.06.84	25.07.84	28	150	150	150		8,04	2,38	1328	59
				150	150	150		8,06	2,39	1305	58
									2,39		59

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

⁺⁾
 Prüfung im Alter von
 Prüfung bei Versuchsbeginn
 Prüfung bei Versuchsdurchführung
 Prüfung bei Versuchsende
 Prüfung nach Angabe

(Tg)
 (VB)
 (VD)
 (VE)
 (Angabe eintr.)

Prüfmaschine: Schenck Trübel 5000 kN
 Prüfer: *g*

Antragsteller:

-155-

Beard.-Nr.:

Beton-Nr.:

Sachbearbeiter:

Dr. Biedelndis

6220/9067

105/84

Versuchs-Auftrag:

Quarkiesbeton mit 1 bzw. 2% Fasern (7)BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten			
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12			
2	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35				
	20x20x20			d20;h 80				

Würfel: Druckfestigkeit

Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichnung	Herstellg. am	Prüfung am ⁺⁾	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	σ N/mm ²
				l	b	h	d				
05/84											
QM 1	3	27.6.84	7.8.2	15,1	15,0	15,0		7,96	2,34	1375	61
1M	4	18.8.86		15,1	15,0	15,0		8,00	2,35	1351	60
									2,35		61

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

+) Prüfung im Alter von (Tg)
 Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
 Prüfung bei Versuchsende (VE)
 Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine:
 Prüfer: *[Signature]*

Antragsteller:	- 156 -	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter:	Dr. Biedelicht	6220/9067	105/84

Versuchs-Auftrag: Quarkiesbeton mit 1 bzw 2% Fasern (7)

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12
2	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35	
	20x20x20			d20;h 80	

(Würfel: Druckfestigkeit

Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am +)	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	B N/mm ²
				l	b	h	d				
105/84 1				150	150	150		8,10	2,40	13,29	59
Qu 2	27.6.84	25.7.84	28	150	150	150		8,10	2,40	13,58	60
2.M 2									2,40		60

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

- +) Prüfung im Alter von (Tg)
 Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
 Prüfung bei Versuchsende (VE)
 Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine: schenck Trebel 5000 kN
 Prüfer: *fr*

Antragsteller:

Sachbearbeiter:

Dr. Stöckert

Bearb.-Nr.:

6220/9067

Beton-Nr.:

105/84

Versuchs-Auftrag:

Quarkiesbeton mit 1 b 2 % Fasern (7)

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12
	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35	
	20x20x20			d20;h 80	

✓ Würfel: Druckfestigkeit
Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichnung	Herstellg. am	Prüfung am +)	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	σ N/mm ²
				l	b	h	d				
105/84		UD									
Qu 2	3			15,1	15,0	15,0		8,02	2,36	13,54	60
M 2	4	13.5.86	782	15,1	15,0	15,0		8,06	2,37	14,15	62
									2,37		61

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

+) Prüfung im Alter von
Prüfung bei Versuchsbeginn (Tg)
Prüfung bei Versuchsdurchführung (VB)
Prüfung bei Versuchsende (VD)
Prüfung nach Angabe (VE)
(Angabe eintr.)

Prüfmaschine:
Prüfer: //

Antragsteller:	- 158 -	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter:	Dr. Bieckelmann	6220/9067	113/84

Versuchs-Auftrag: Quarkiesbeton

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12
2	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35	
	20x20x20			d20;h 80	

Würfel: Druckfestigkeit
 Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am ⁺⁾	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	R N/mm ²
				l	b	h	d				
113/84 1				150	150	150		7,56	2,24	908	40
Quar 2	11.07.84	08.08.84	28	150	150	150		7,54	2,23	726	32
I.M.									2,24		36

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

- ⁺⁾ Prüfung im Alter von
 Prüfung bei Versuchsbeginn
 Prüfung bei Versuchsdurchführung
 Prüfung bei Versuchsende
 Prüfung nach Angabe
- (Tg)
 (VB)
 (VD)
 (VE)
 (Angabe eintr.)

Prüfmaschine: Schenck Tiebel 5000N
 Prüfer: *[Signature]*

Antragsteller:	-159-	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter: <i>Dr. Biederichs</i>		6220/9067	113/84

Versuchs-Auftrag: Quarkkiesbeton

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12
	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35	
	20x20x20			d20;h 80	

< Würfel: Druckfestigkeit
 Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am ⁺⁾	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	σ N/mm ²
				l	b	h	d				
113/84 3		UD	217	150	150	150		7,60	2,25	1033	46
Que 4	11.07.84	13.02.85		150	150	150		7,60	2,25	1008	45
1.M.									2,25		46

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

⁺⁾ Prüfung im Alter von (Tg)
 Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
 Prüfung bei Versuchsende (VE)
 Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine: Schenck Trebel 5000 kN
 Prüfer: *[Signature]*

Antragsteller:

Sachbearbeiter:

Dr. Biedendies

- 160 -

Bearb.-Nr.:

6220/9067

Beton-Nr.:

113/84

Versuchs-Auftrag:

QuarkkiesbetonBETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15; h 30	20x20x12
2	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15; h 35	
	20x20x20			d20; h 80	

Würfel: Druckfestigkeit

Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichnung.	Herstellg. am	Prüfung am ⁺⁾	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	B N/mm ²
				l	b	h	d				
113/84 1				150	150	150		8,28	2,45	1236	55
QmW 2	11.07.84	8.8.84	18	150	150	150		8,28	2,45	1209	54
2.M									2,45		55

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

+) Prüfung im Alter von (Tg)
 Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
 Prüfung bei Versuchsende (VE)
 Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine: Schenck Trebel 5000kN
 Prüfer: *[Signature]*

Antragsteller:	- 161-	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter: <i>N. Dieckmann</i>		6220/9067	113/84

Versuchs-Auftrag: Quarkiesbeton

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12
	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35	
	20x20x20			d20;h 80	

< Würfel: Druckfestigkeit
 Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am ⁺⁾	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	R _b N/mm ²
				l	b	h	d				
113/84 3		VD	217	150	150	150		8,12	2,41	1351	60
QMW 4	11.07.84	13.02.85		150	150	150		8,12	2,41	1453	65
2M									2,41		63

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

⁺⁾ Prüfung im Alter von
 Prüfung bei Versuchsbeginn
 Prüfung bei Versuchsdurchführung
 Prüfung bei Versuchsende
 Prüfung nach Angabe

(Tg)
 (VB)
 (VD)
 (VE)
 (Angabe eintr.)

Prüfmaschine: *Schenck Trebel 5000 kN*
 Prüfer: *V*

Antragsteller:	-162-	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter: Dr. Diedrichs		6220/9067	116/84

Versuchs-Auftrag: ⑧ Quarkiesbeton m. NZ 0,55 + Stahlfasern

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
2 10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12	
15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35		
20x20x20			d20;h 80		

Würfel: Druckfestigkeit
 Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am ⁺⁾	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	R N/mm ²
				l	b	h	d				
116/84 1				150	150	150		8,16	2,42	1195	53
QM 2	17.07.84	14.08.84	28	150	150	150		8,20	2,43	1208	54
0,55									2,43		54

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

⁺⁾ Prüfung im Alter von (Tg)
 Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
 Prüfung bei Versuchsende (VE)
 Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine: Schenck Tübel 5000 N
 Prüfer: *g*

Mitragsteller:

Sachbearbeiter:

D. Dielerichs

- 163 -

Beauf.-Nr.:

6220/9067

Beton-Nr.:

116/184

Versuchs-Auftrag: ⑧ Quarkkiesbeton u. Wz 0,55 + Stahlfasern

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12
2	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35	
	20x20x20			d20;h 80	

Würfel: Druckfestigkeit

Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am ⁺⁾	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	R N/mm ²
				l	b	h	d				
116/184 3	17.07.84	18.8.86	762	15,1	15,0	15,0		8,04	2,37	1356	60
QM 4				15,1	15,0	15,0		8,02	2,36	1285	57
0,55									2,37		59

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

+) Prüfung im Alter von (Tg)
 Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
 Prüfung bei Versuchsende (VE)
 Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine:
 Prüfer:

Antragsteller:	-164-	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter: Dr. Dieleridis		6220/9067	117/84

Versuchs-Auftrag: Ⓑ Quarzkeis beton WZ 0/65 + Stahlfasern

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12
2	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35	
	20x20x20			d20;h 80	

Würfel: Druckfestigkeit
Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am +)	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm³	Bruchlast kN	B N/mm²
				l	b	h	d				
117/84 1	17.07.84	14.08.84	28	150	150	150		8,10	2,40	9,51	42
QM 2				150	150	150		8,10	2,40	9,41	42
0,65									2,40		42

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

+) Prüfung im Alter von (Tg)
 Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
 Prüfung bei Versuchsende (VE)
 Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine: 5.6mch Tübel 5000 kg
 Prüfer: γ

Antragsteller:

Sachbearbeiter:

Dr. Diederichs

6220/9067

117/84

Versuchs-Auftrag:

(B) Quarzkiesbeton Wz 0,65 u. Stahlfasern

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12
2	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35	
	20x20x20			d20;h 80	

Würfel: Druckfestigkeit

Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichnung	Herstellg. am	Prüfung am ⁺⁾	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	B N/mm ²
				l	b	h	d				
117/84 3		VD									
Qm 4	17.07.84	15.8.86	762	15,1	15,0	15,0		7,94	2,54	1024	45
0,65				15,0	15,0	15,0		7,86	2,33	1068	47
									2,54		46

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

⁺⁾ Prüfung im Alter von (Tg)
 Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
 Prüfung bei Versuchsende (VE)
 Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine:
 Prüfer:

Antragsteller:	- 166 -	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter:	J. Niederichs	6220/9067	123/84

Versuchs-Auftrag: Quarkkiesmörtel 0-8 (ohne u. mit Fein)

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12
2	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35	
	20x20x20			d20;h 80	

Würfel: Druckfestigkeit
 Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am ⁺⁾	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	B N/mm ²
				l	b	h	d				
23/84 1	30.07.84	27.08.84	28	15,0	15,0	15,0		7,86	2,33	1166	56
110 2				15,0	15,0	15,0		7,84	2,32	1138	53
									2,33		55

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

⁺⁾ Prüfung im Alter von (Tg)
 Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
 Prüfung bei Versuchsende (VE)
 Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine: Toibel 5000 kN
 Prüfer: J.

Antragsteller:
Sachbearbeiter: *Dr. Heideichs*

-167-

Beauf.-Nr.:
6220/9067

Beton-Nr.:
123/84

Versuchs-Auftrag: Quarkiesmörtel 0-8 (ohne u. mit Fasern)

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten			
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12			
	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35				
	20x20x20			d20;h 80				

☒ Würfel: Druckfestigkeit
☐ Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am ⁺⁾	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	R N/mm ²
				l	b	h	d				
123/84 110		VD 13.8.86	749								
				15,1	15,0	15,0		7,66	2,24	1439	64
				15,1	15,0	15,0		7,58	2,23	1424	63
									2,24		64

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

⁺⁾ Prüfung im Alter von
Prüfung bei Versuchsbeginn (Tg)
Prüfung bei Versuchsdurchführung (VB)
Prüfung bei Versuchsende (VD)
Prüfung nach Angabe (VE)
(Angabe eintr.)

Prüfmaschine:
Prüfer: */*

Antragsteller:	- 168 -	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter:	Dr. Biederdichs	6220/9067	123/84

Versuchs-Auftrag: Quarkiesmörtel 0-8mm (ohne u. mit Fasern)

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12
	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35	
	20x20x20			d20;h 80	

Würfel: Druckfestigkeit
Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am ⁺⁾	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruch- last kN	σ N/mm ²
				l	b	h	d				
12384 Mtm 1 2	30.07.84	27.08.84	28	15.0	15.0	15.0		7.88	2.33	1163	52
				15.0	15.0	15.0		7.92	2.35	1170	52
									2.34		52

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

- ⁺⁾ Prüfung im Alter von (Tg)
 Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
 Prüfung bei Versuchsende (VE)
 Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine: Indel 5000 Li
 Prüfer:

Antragsteller:	-169-	Beard.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter:	Dr. Dieckmann	6220/9067	123/84

Versuchs-Auftrag: Quarkieswürfel 0-8mm (ohne u. mit Feinstm.)

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12
	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35	
	20x20x20			d20;h 80	

Würfel: Druckfestigkeit
Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am ⁺⁾	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	B N/mm ²
				l	b	h	d				
123/84 M41	3 4	18.5.86	749	15,1	15,0	15,0		7,55	2,25	1430	63
				15,0	15,0	15,0		7,54	2,23	1393	62
									2,23		63

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

⁺⁾ Prüfung im Alter von (Tg)

Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)

Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)

Prüfung bei Versuchsende (VE)

Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine:

Prüfer: *[Signature]*

Antragsteller:	- 170 -	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter:		6250/0062	157/84

Versuchs-Auftrag: 3 Zylinder im Alter von 28 Tagen

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12	
15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35		
20x20x20			d20;h 80		

Würfel: Druckfestigkeit
 Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am +)	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm³	Bruchlast kN	B N/mm²
				l	b	h	d				
1				150	150	150		8,34	2,47	1175	52
2	10.10.84	2.11.84	28	150	150	150		8,36	2,48	1134	50
									2,48		51

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

+) Prüfung im Alter von (Tg)
 Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
 Prüfung bei Versuchsende (VE)
 Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine: S. L. 1000
 Prüfer: G.

Antragsteller:	-171-	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter:	Dr. Diederichs	6220/9067	157/84

Versuchs-Auftrag:

3 Balken Kalksteinbeton 6,4x15x70

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
2 10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12	
2 15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35		
2 20x20x20			d20;h 80		

Würfel: Druckfestigkeit
Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am ⁺	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	σ N/mm ²
				l	b	h	d				
157/84 3	10.10.84	15.8.86	(77)	15,2	15,0	15,0		8,22	2,40	1224	54
1/0				15,2	15,1	15,0		8,22	2,39	1171	52
									2,40		53

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

⁺ Prüfung im Alter von (Tg)
 Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
 Prüfung bei Versuchsende (VE)
 Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine:
 Prüfer: /

Antragsteller:	-172-	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter:		620/0000	

Versuchs-Auftrag:

3 Beton Balkenprüfungen
614 x 115 x 40

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12
2	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35	
	20x20x20			d20;h 80	

Würfel: Druckfestigkeit

Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichnung	Herstellg. am	Prüfung am +)	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	σ N/mm ²
				l	b	h	d				
km 1 150/500	10.11.2000	9.11.2000	10	150	150	150		8,30	2,46	1050	48
				150	150	150		8,30	2,46	1074	48
									2,46		48

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

- +) Prüfung im Alter von (Tg)
 Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
 Prüfung bei Versuchsende (VE)
 Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine: Schenck Tabela 5000
 Prüfer: 4

Antragsteller:	-173-	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter: Dr. Dielerichs		6220/9067	158/84

Versuchs-Auftrag: 3 Balken Kalksteinbeton
614 x 15 x 70

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12
2	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35	
	20x20x20			d20;h 80	

✓ Würfel: Druckfestigkeit
 Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am ⁺⁾	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	R N/mm ²
				l	b	h	d				
158/21 3 2/11	10.10.84	VD 13.8.50	677	15,2	15,1	15,0		8,20	2,39	1214	53
				15,1	15,0	15,0		8,06	2,37	1075	45
									2,38		51

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

⁺⁾ Prüfung im Alter von (Tg)
 Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
 Prüfung bei Versuchsende (VE)
 Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine:
 Prüfer: */*

Antragsteller:

Sachbearbeiter:

Dr. Dieckmann

- 174 -

Bearb.-Nr.:

6220/9067

Beton-Nr.:

166/84

Versuchs-Auftrag:

3 Balken

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15; h 30	20x20x12
	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15; h 35	
	20x20x20			d20; h 80	

(Würfel: Druckfestigkeit

Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am ⁺⁾	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruch- last kN	R N/mm ²
				l	b	h	d				
1146 1	29.10.84	264.84	28	150	150	150		7,78	2,31	1046	47
166/84 2				150	150	150		7,80	2,31	1116	50
									2,31		49

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

+) Prüfung im Alter von (Tg)
 Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
 Prüfung bei Versuchsende (VE)
 Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine: Schenck Trebel 5000 kN
 Prüfer: J

Antragsteller:	- 175 -	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter:	Dr. Weidenichs	6220/9067	166/84

Versuchs-Auftrag: 3 Balken

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten		
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12		
	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35			
	20x20x20			d20;h 80			

(Würfel: Druckfestigkeit
 Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am ⁺⁾	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	R N/mm ²
				l	b	h	d				
166/84 3 MH6 4	29.10.84	VD 17.12.84	49	150	150	150		7,82	2,32	1185	53
				150	150	150		7,80	2,31	1145	51
									2,32		52

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

⁺⁾ Prüfung im Alter von (Tg)

Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)

Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)

Prüfung bei Versuchsende (VE)

Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine: Schenck Trebel 5000kN

Prüfer: J.

Antragsteller:	-176-	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter: Dr. Dieckmann		6220/9067	167/84

Versuchs-Auftrag: 3 Balken

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten			
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12			
2	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35				
	20x20x20			d20;h 80				

(Würfel: Druckfestigkeit
 Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am +)	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	R N/mm ²
				l	b	h	d				
MH12 1	29.10.84	26.11.84	28	150	150	150		790	2,34	968	43
167/84 2				150	150	150		790	2,34	968	43
									2,34		43

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

+) Prüfung im Alter von (Tg)
 Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
 Prüfung bei Versuchsende (VE)
 Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine: Schenck Trebel 500/11A
 Prüfer: J

Antragsteller:	-177-	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter:	Dr. Dieckmann	6220/9067	167/84

Versuchs-Auftrag: 3 Balken

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten			
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12			
	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35				
	20x20x20			d20;h 80				

Würfel: Druckfestigkeit
Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am ⁺⁾	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	B N/mm ²
				l	b	h	d				
MH12 167/84 3 4	19.10.84	VD 13.02.85	107	150	150	150		7,82	2,32	1054	47
				150	150	150		7,78	2,31	1124	50
									2,32		49

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

⁺⁾ Prüfung im Alter von (Tg)
 Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
 Prüfung bei Versuchsende (VE)
 Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine: Schenck Trebel 5000 kN
 Prüfer: *[Signature]*

Antragsteller:	- 178 -	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter: Dr. Dieckmann		62209067	171/84

Versuchs-Auftrag: 3 Balken (Q 43)

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
1	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12
2	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35	
	20x20x20			d20;h 80	

X Würfel: Druckfestigkeit
Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichnung	Herstellg. am	Prüfung am +)	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	B N/mm ²
				l	b	h	d				
Q43 1				450	150	150		3,23	2,45	1040	46
171/84 2	1.11.84	29.11.84	28	150	150	150		3,23	2,45	1075	48
									2,45		47

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

+)

Prüfung im Alter von	(Tg)	Prüfmaschine: Schenck
Prüfung bei Versuchsbeginn	(VB)	Prüfer: K
Prüfung bei Versuchsdurchführung	(VD)	
Prüfung bei Versuchsende	(VE)	
Prüfung nach Angabe	(Angabe eintr.)	

Antragsteller:	- 179 -	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter:	Dr. Dieckmeyer	6220/9067	177/84

Versuchs-Auftrag: 3 Balken Q43

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12
	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35	
	20x20x20			d20;h 80	

D Würfel: Druckfestigkeit
 Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am ⁺⁾	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	B N/mm ²
				l	b	h	d				
Q43 3 4 1.11.84		VD 13.02.84	104	150	150	150		8,20	2,43	1181	53
				150	150	150		8,26	2,45	1224	54
									2,44		54

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

⁺⁾ Prüfung im Alter von (Tg)
 Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
 Prüfung bei Versuchsende (VE)
 Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine: Schenck Triebel 5000 KN
 Prüfer: *[Signature]*

Antragsteller:	Dr. Diederichs -180-	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter:		6220/9067	172/84

Versuchs-Auftrag: 3 Balken Q46

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12
	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35	
	20x20x20			d20;h 80	

X Würfel: Druckfestigkeit
Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am ⁺⁾	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	B N/mm ²
				l	b	h	d				
Q467 2	1.11.84	29.4.84	28	150	150	150		3,43	2,51	1063	47
				150	150	150		3,43	2,51	1044	49
									2,51		43

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

⁺⁾ Prüfung im Alter von (Tg)
 Prüfung bei Versuchsbeginn (VB)
 Prüfung bei Versuchsdurchführung (VD)
 Prüfung bei Versuchsende (VE)
 Prüfung nach Angabe (Angabe eintr.)

Prüfmaschine: Schenck Testel 5000 kg
 Prüfer: Y

Antragsteller:	- 181 -	Bearb.-Nr.:	Beton-Nr.:
Sachbearbeiter:	Dr. Döbrichs	6220/9067	172/84

Versuchs-Auftrag: 3 Balken Q46

BETONPRÜFUNGEN

Art, Anzahl und Abmessungen (cm) der Prüfkörper	Würfel	Prismen	Balken	Zylinder	Platten		
	10x10x10	15x15x70	10x15x70	d15;h 30	20x20x12		
	15x15x15	20x20x90	15x15x70	d15;h 35			
	20x20x20			d20;h 80			

X Würfel: Druckfestigkeit
 Platten: Wasserundurchlässigkeit

Bezeichng.	Herstellg. am	Prüfung am ⁺⁾	Alter Tg.	Abmessungen cm				Masse kg	Rohdichte kg/dm ³	Bruchlast kN	R N/mm ²
				l	b	h	d				
Q46 3 172/84 4	1.11.84	✓ 18.8.86	655	151	151	151		8.56	2.49	1479	65
				15.1	15.0	15.0		8.52	2.51	1515	67
									2.50		66

Prismen: Druckfestigkeit - E-Modul

Balken: Biegezugfestigkeit

Zylinder: Druckfestigkeit - Spaltzugfestigkeit - E-Modul - Schwinden - Kriechen

⁺⁾ Prüfung im Alter von Prüfung bei Versuchsbeginn Prüfung bei Versuchsdurchführung Prüfung bei Versuchsende Prüfung nach Angabe	(Tg) (VB) (VD) (VE) (Angabe eintr.)	Prüfmaschine: Prüfer: <i>[Signature]</i>
--	---	---